

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ

“15” 06 2020p.

Київ - 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»**

Факультет електроніки


Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр телекомунікацій та радіотехніки
Спеціальність 172 ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 Лисенко О.М.
(підпис) (прізвище ініціали)

«17» 02 _____ 2020р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Накоренку Артему Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Універсальний кабельний тестер
керівник проекту Губар Вячеслав Григорович, старший викладач
затверджені наказом по університету від 25.05.2020 року №1196с
2. Термін подання студентом проекту 10 червня 2020 року
3. Вихідні дані до проекту Пристрій являє собою конструкцію, що складається з двох блоків – блоку управління та блоку перевірки. Кліматичне виконання УХЛ 1.1 по ГОСТ 15150-69. Конструкція повинна забезпечувати швидку зміну блоків перевірки, що підключаються до блоку управління. Габаритні розміри для плати блоку управління – не більше 150x150 мм, блоку перевірки – не більше 150x150 мм, маса – не більше 400 г. Час напрацювання на відмову – не менше 20000 годин.
Живлення пристрою 5 В, від комп'ютера або блоку живлення.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- огляд існуючих типів кабельних тестерів, патентний пошук;
- аналіз технічного завдання;
- розробка структурної схеми;
- вибір і обґрунтування елементної бази;
- опис роботи в режимі без комп'ютера;
- розробка схеми електричної принципової;
- розробка в середовищі Altium Design;
- проектування програмного забезпечення;
- конструкторсько-технологічні розрахунки друкованої плати;
- електричний розрахунок друкованої плати;
- розрахунок надійності друкованої плати;
- розрахунок віброміцності друкованої плати;
- розрахунок теплового режиму стабілізатора напруги;
- висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо):

- схема електрична принципова для плати блоку управління – А2;
- схема електрична принципова для плати блоку перевірки – А1;
- друковані плати блоку управління та перевірки – А1;
- складальні креслення друкованих плат – А1.

6. Дата видачі завдання 17.02.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів виконання Дипломного проекту | Термін виконання етапів проекту | Примітка |
|-------|---|---------------------------------|----------|
| 1 | Аналіз технічного завдання | 17.02.20 - 26.03.20 | виконано |
| 2 | Вибір елементної бази та друкованої плати | 26.03.20 - 02.04.20 | виконано |
| 3 | Схемотехнічне проектування | 02.04.20 - 09.04.20 | виконано |
| 4 | Виконання креслень схеми електричної принципової | 09.04.20 - 23.04.20 | виконано |
| 5 | Проектування друкованого вузла у Altium Designer | 23.04.20 - 30.04.20 | виконано |
| 6 | Конструкторсько-технологічні розрахунки | 30.04.20 - 03.05.20 | виконано |
| 7 | Електричний розрахунок друкованої плати | 03.05.20 - 07.05.20 | виконано |
| 8 | Розрахунок віброміцності друкованої плати | 07.05.20 - 14.05.20 | виконано |
| 9 | Розрахунок теплового режиму стабілізатора напруги | 14.05.20 - 21.05.20 | виконано |
| 9 | Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла | 21.05.20 - 28.05.20 | виконано |
| 10 | Оформлення пояснювальної записки | 28.05.20 – 10.06.2020 | виконано |
| | | | |

Студент _____ А.А. Накоренко

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту _____ В.Г. Губар

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Анотація

Роботу викладено на 64 сторінках, вона містить 4 розділи, 30 ілюстрацій, 11 таблиць та 14 джерел в переліку посилань.

Метою даної роботи є розробка універсального кабельного тестеру, що дозволить швидко змінювати блоки перевірки, підключені до блоку управління та забезпечить роботу в режимі з комп'ютером та без.

Універсальний кабельний тестер – пристрій, застосування якого полягає в перевірці на справність кабелів та джгутів. Придатний для використання на підприємствах, що займаються виготовленням або ремонтом електронно-обчислювальної апаратури. Універсальність досягається завдяки розділенню блоку управління та блоку перевірки на дві незалежні системи. Блок управління розрахований на перевірку до ста контактів в одному роз'ємі, що забезпечує підтримку найвикористовуваніших типів роз'ємів, також максимальне значення контактів може бути легко перепрограмоване під потрібну для кінцевого користувача кількість.

У дипломному проекті виконано патентний пошук існуючих типів кабельних тестерів, їх недоліки та проаналізовано їх роботу. Розроблено структурну схему, схему електричну принципову, виконано вибір елементної бази для плат блоку управління та блоку перевірки. Виконано конструкторсько-технологічні й електричні розрахунки, що підтверджують роботоздатність друкованих вузлів. Розроблено програмне забезпечення для блоку управління та комп'ютера.

Була підготована доповідь по темі дипломного проекту на міжнародну науково-технічну конференцію «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення».

Ключові слова: джгут; пристрій; роз'єм; блок управління; блок перевірки.

Summary

The work is presented on 64 pages, it contains 4 sections, 30 illustrations, 11 tables and 14 sources in the list of links.

The purpose of this work is to develop a universal cable tester that will allow you to quickly change the test units connected to the control unit and ensure operation in computer mode and without.

Universal cable tester - a device whose application is to check the serviceability of cables and harnesses. Suitable for use in enterprises engaged in the manufacture or repair of electronic computer equipment. Versatility is achieved by dividing the control unit and the test unit into two independent systems. The control unit is designed to test up to one hundred contacts in one connector, which provides support for the most commonly used types of connectors, and the maximum value of the contacts can be easily reprogrammed to the required number for the end user. The diploma project performed a patent search for existing types of cable testers, their shortcomings and analyzed their work. The structural scheme, the schematic electric scheme are developed, the choice of element base for boards of the control unit and the check unit is executed. Design-technological and electrical calculations confirming the operability of printed assemblies are performed. Software for control unit and computer has been developed.

A report on the topic of the diploma project for the international scientific and technical conference "Information Society: Technological, Economic and Technical Aspects of Formation" was prepared.

Key words: plait; device; connector; control unit; check unit.

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: **Універсальний кабельний тестер**

Київ – 2020 року

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Скорочення та умовні позначки | 3 |
| ВСТУП..... | 4 |
| РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ. ПАТЕНТНИЙ ПОШУК..... | 5 |
| 1.1 Аналіз ринку кабельних тестерів..... | 5 |
| 1.2 Патентний пошук | 6 |
| 1.3 Аналіз технічного завдання | 9 |
| Висновок до розділу | 9 |
| РОЗДІЛ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ | 11 |
| 2.1 Структурна схема пристрою | 11 |
| 2.2 Вибір елементної бази | 12 |
| 2.3 Розробка схеми електричної принципової | 19 |
| 2.4 Розміщення компонентів та трасування плат | 20 |
| 2.5 Розробка проекту в Altium Design..... | 26 |
| 2.6 Опис роботи схеми..... | 27 |
| Висновок до розділу | 27 |
| РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ | 29 |
| 3.1 Налаштування мікроконтролера..... | 30 |
| 3.2 Опис роботи програми в режимі без ПК..... | 30 |
| 3.3 Опис роботи програми в режимі з ПК | 32 |
| Висновок до розділу | 33 |
| РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ | 35 |
| 4.1 Вибір та обґрунтування типу друкованої плати..... | 35 |

| | | | | | | | |
|------------------|------------|--------------------|---------------|-------------|--|----------------------------------|--------------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | | |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк</i> | <i>№ документа</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | | |
| <i>Розроб.</i> | | <i>А.А.</i> | | | Універсальний кабельний тестер Пояснювальна записка | <i>Літера</i> | <i>Аркуш</i> |
| <i>Перевірів</i> | | <i>В.Г. Губар</i> | | | | | <i>63</i> |
| <i>Н.</i> | | <i>В.Г. Губар</i> | | | | КПІ ім.Ігоря Сікорського, | |
| <i>Затвердив</i> | | <i>В.Г. Губар</i> | | | | | |

| | |
|---|----|
| 4.2 Вибір та обґрунтування матеріалу друкованої плати | 36 |
| 4.3 Вибір та обґрунтування форми та розміру друкованої плати..... | 37 |
| 4.4 Вибір та обґрунтування класу точності..... | 37 |
| 4.5 Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати | 39 |
| 4.6 Електричний розрахунок друкованої плати | 46 |
| 4.7. Розрахунок надійності друкованого вузла..... | 49 |
| 4.8 Розрахунок віброміцності друкованого вузла | 55 |
| 4.9 Розрахунок теплового режиму | 58 |
| Висновок до розділу | 60 |
| ВИСНОВКИ..... | 61 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ..... | 62 |
| ДОДАТОК А Технічне завдання на проектування | |
| ДОДАТОК Б Блок-схеми функцій | |
| ДОДАТОК В Участь у конференціях | |
| ДОДАТОК Г Універсальний кабельний тестер. Перелік елементів | |
| ДОДАТОК Д Блок управління. Специфікація | |
| ДОДАТОК Ж Блок перевірки. Специфікація | |

Скорочення та умовні позначки

ДП – друкована плата

ДВ – друкований вузол

БУ – блок управління

БП – блок перевірки

МК – мікроконтролер

SCL – Serial clock (сигнал тактування інтерфейсу I2C)

SDA – Serial data (сигнал передачі даних інтерфейсу I2C)

КЕ – конструктивні елементи

УГП – умовно - графічні позначення

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 3 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ВСТУП

Сучасні складні електронні пристрої складаються з десятків окремих функціональних блоків, які з'єднуються за допомогою різних інтерфейсів передачі інформації, наприклад USART, SPI, I2C. Але за ширмою цих інтерфейсів залишається звичайна передача даних по провідникам, часто об'єднаних в джгути, яких може бути десятки в одному складному пристрої. В такому випадку розробнику важливо бути впевненим, що можлива несправність не спричинена неправильно з'єднаним провідником або, взагалі, його не придатністю для роботи.

Пристрої перевірки джгутів – електронні прилади, що дозволяють виявляти локальні несправності в джгутах або кабелях. Пристрої такого типу використовуються на різних підприємствах, що займаються виготовленням або ремонтом електронних приладів.

Метою даної роботи є розробка пристрою, що виправить основні недоліки аналогів та забезпечить комфортну роботу для користувача. Планується вивчити ринок подібних пристроїв, провести патентний пошук та визначити найкраще схемотехнічне рішення.

В ході виконання дипломного проекту було розроблено концепцію, що дозволить швидко змінювати роз'єми для перевірки джгутів та дозволить зручно транспортувати пристрій, що збільшує спектр місць для його застосування. Також розроблено програмне забезпечення для мікроконтроллера та комп'ютера на базі ОС Windows, що забезпечить зручну роботу як в стаціонарному, так і в мобільному режимах.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК61.468382.001 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 4 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ. ПАТЕНТНИЙ ПОШУК

Універсальний кабельний тестер – пристрій, застосування якого полягає в перевірці на справність кабелів та джгутів. Потрібний для використання на підприємствах, що займаються виготовленням або ремонтом електро-обчислювальної апаратури.

1.1 Аналіз ринку кабельних тестерів

В відкритих інтернет джерелах існує 3 основні типи пристроїв, доступних для придбання:

- а) Тестери витих пар [1];
- б) Моноблочні конструкції з індикацією за допомогою рідкокристалічного екрану, розташованого на корпусі [2];
- в) Моноблочні конструкції, що працюють тільки з ПК [3].

Перший тип тестерів, набагато менший в геометричних розмірах, але працює лише з одним типом джгутів.

Другий тип має моноблочну конструкцію, що є більш надійним. Недоліком є те, що роз'єми для перевірки вже вибрані та встановлені розробником. Для індикації використовується LCD-дисплей, що має недоліки, основним з яких можна виділити відносно поганий контраст кольорів при зміні кута огляду [4]. Також, подібне рішення створює проблеми з транспортуванням через громіздкість конструкції.

Третій тип також має моноблочну конструкцію, що тягне за собою всі мінуси попереднього рішення, але не пропонує ніяких можливостей роботи без ПК.

Конструкція розробленого пристрою поділена на дві частини в різних корпусах, що з'єднані між собою джгутом для передачі інформації.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 5 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Універсальність забезпечена тим, що до одного й того ж блоку управління може бути підключено різні блоки перевірки джгутів, з роз'ємами, які використовуються в виробі, що розробляє користувач. Тобто зміна кількості контактів в джгуті, або підключення іншого типу роз'єму, до якого підключений джгут, не потребує перепрограмування або додаткового переналаштування блоку управління. Також перевагою є можливість роботи пристрою як в зв'язку з ПК, так і самостійно. В режимі роботи з ПК в користувача є можливість редагувати і створювати сценарії перевірки джгутів в програмі Excel.

1.2 Патентний пошук

Було розглянуто патент USD800,588S «Cable Tester» 24.10.2017, розробник та власник John Francis Masek. Автор пропонує компактне рішення для тестування кабелів одного типу.

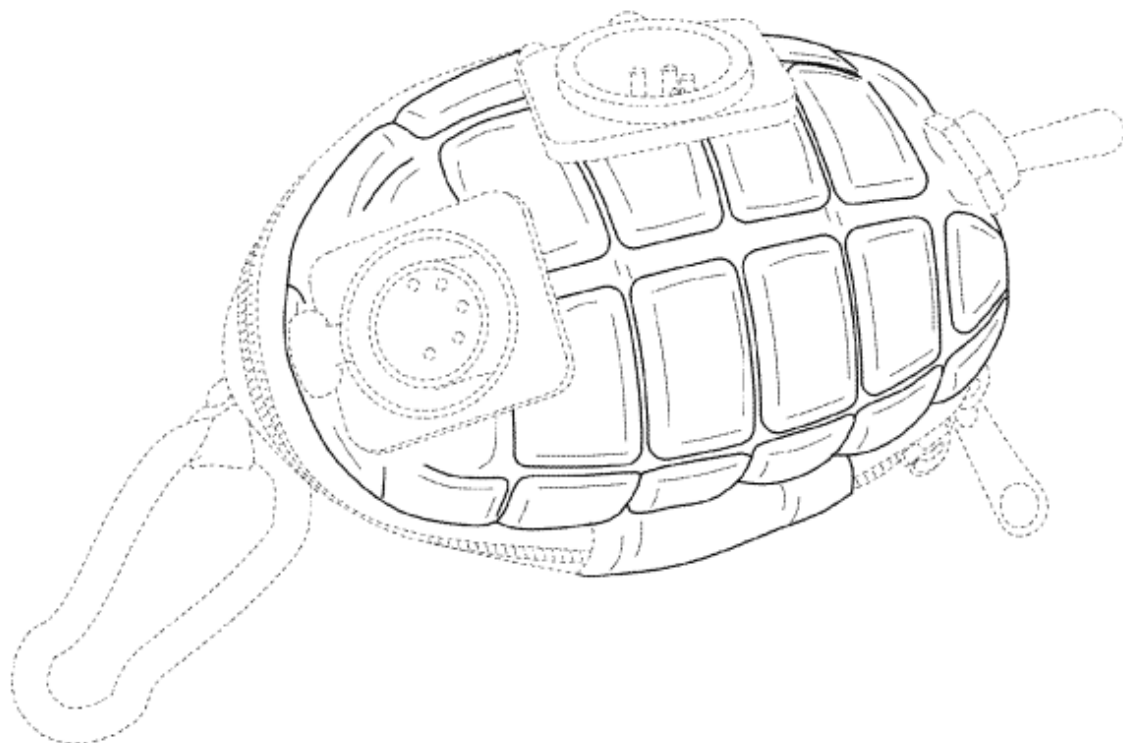


Рисунок 1.1 – Пристрій запатентований під номером USD800,588S

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 6 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Для індикації автор використовував світлодіоди, що сигналізують роботоздатність, або кабель пошкоджений або ні. Що є недоліком, адже немає можливості дізнатися, який саме провідник в кабелі несправний.

Основним недоліком цього рішення є те, що не існує способу перевірити кабель іншого типу за допомогою цього пристрою.

Наступним розглянуто патент USD738,240S «Cable tester» 08.09.2015, розробник John Lawrence Payne, власник Southwire Company, LLC. Цей пристрій також має достатньо обмежений функціонал, адже створений для перевірки кабелів з роз'ємами RJ-45.

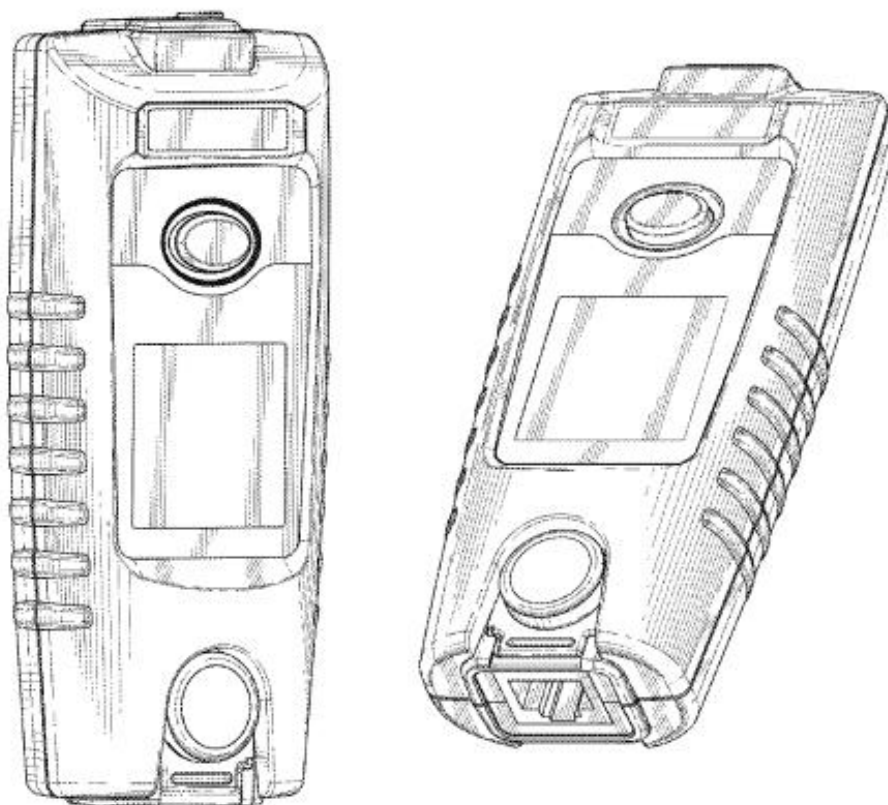


Рисунок 1.2 - Пристрій запатентований під номером USD738,240S

Пристрій запатентований під номером USD518,393S «Cable tester CES Model ED-LAB» 04.04.2006, розроблений Mitchell B. Nesenoff представляє собою моноблочну конструкцію. На корпусі встановлено роз'єми декількох

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 7 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

типів, що розширює функціонал, в порівнянні з представленими вище зразками. Також встановлено дисплей для відображення результатів. Нажаль, патент не містить опису принципу роботи та елементної бази, але, враховуючи, що пристрій було запатентовано 2006 року, можна стверджувати, що на даний момент елементна база є застарілою. До недоліків можна віднести передвстановлені роз'єми, таке рішення може не підходити багатьом користувачам, що використовують джгути або кабелі власного виробництва.

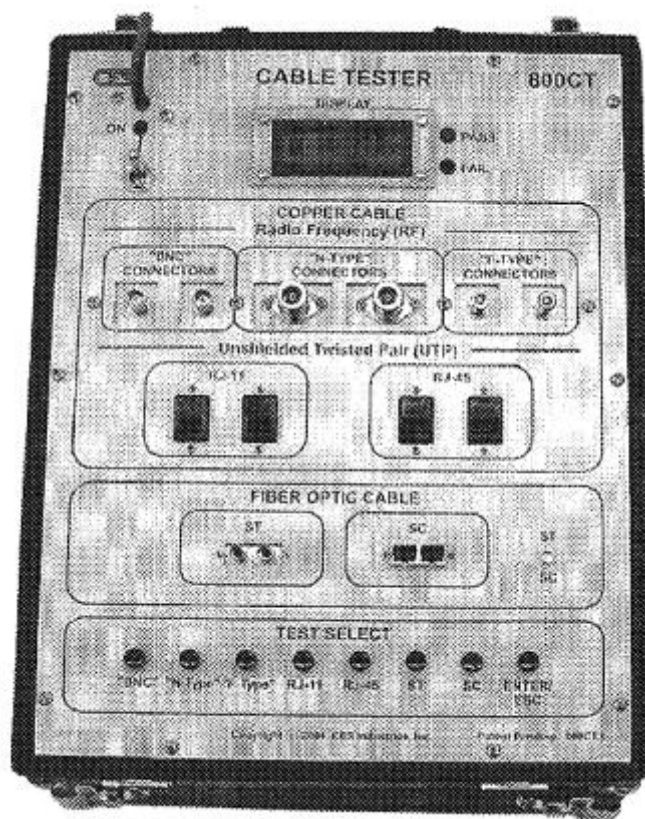


Рисунок 1.2 - Пристрій запатентований під номером USD518,393S

Всі наведені вище пристрої запатентовані в США. На сайті УкрПатенту не було знайдено аналогів патентам США. Схожими за функціоналом є патенти «Система, спосіб та пристрій для моніторингу оптоволоконного кабелю» 15.05.2002, розробник Слободянюк Олександр Володимирович, власник ПЛЛБ ЕЛЕКТРОНІКА С.П.А. (ІТ) та «Пристрій для знаходження місць пошкоджень

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 8 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

кабельних ліній» 31.04.1994, розробник і власник Назаров Володимир Васильович.

1.3 Аналіз технічного завдання

Основними пунктами технічного завдання є те, що розроблюваний пристрій повинен перевіряти кожен з провідників в джгуті окремо, також відображувати результат перевірки користувачу. Враховуючи це, потрібно розробити рішення, що дозволить перевіряти джгути з великою кількістю провідників.

Проаналізовано ринок та патенти пристроїв, функціональне завдання яких знаходити несправності в кабелях або джгутах. Було встановлено, що більшість патентів є застарілими, а розроблені пристрої обмеженими в функціоналі. Тому розробка проекту, що усуне недоліки пристроїв наведених вище є актуальною. Результатом конструювання буде пристрій відносно невеликий за розміром, з можливістю встановлення роз'ємів потрібних для перевірки кабелів користувача. Універсальність потрібно досягнути завдяки розділенню блоку управління та блоку перевірки на дві незалежні системи. Блок управління повинен бути розрахований на перевірку до ста контактів в одному роз'ємі, що забезпечить підтримку найвикористовуваніших типів роз'ємів, також максимальне значення контактів повинно бути легко перепрограмоване під потрібну для кінцевого користувача кількість. Створення окремого блоку управління дозволить швидко змінювати блоки перевірки даних, на яких можуть бути встановлені різні роз'єми, для перевірки різних джгутів.

Висновок до розділу

В розділі розглянуто базові концепції пристроїв для перевірки джгутів, проаналізовано специфіку їх роботи. Жоден з розглянутих типів не підходить для реалізації, адже всі мають ряд суттєвих недоліків. Основним з яких є

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

обмеження в типах роз'ємів, що встановлені на пристрої, всі розглянуті зразки мають ряд перед встановлених роз'ємів, які неможливо замінити. Тому було розроблено власну концепцію, що дозволить зручно змінювати блок з встановленими роз'ємами.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 10 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 Структурна схема пристрою

Розроблюваний пристрій забезпечує поетапну перевірку всіх контактів в джгуті. Пристрій складається з двох блоків – блоку управління та блоку перевірки. Блок перевірки живиться від блоку управління через джгут, провідники в якому передають дані за інтерфейсом I2C. Блок перевірки складається з двох плат з розпаяними роз'ємами для джгутів, типи роз'ємів для проекту задані технічним завданням. Ці плати приєднані до блоку управління, на якому встановлено мікроконтролер(МК), кнопки контролю, екран для виведення інформації. Джгут, що потрібно перевірити включається в блок перевірки, між двома платами, на яких розміщено відповідні роз'єми. Далі починається перевірка: в залежності від типу - з ПК або без ПК - користувач перевіряє джгут вручну або автоматично.

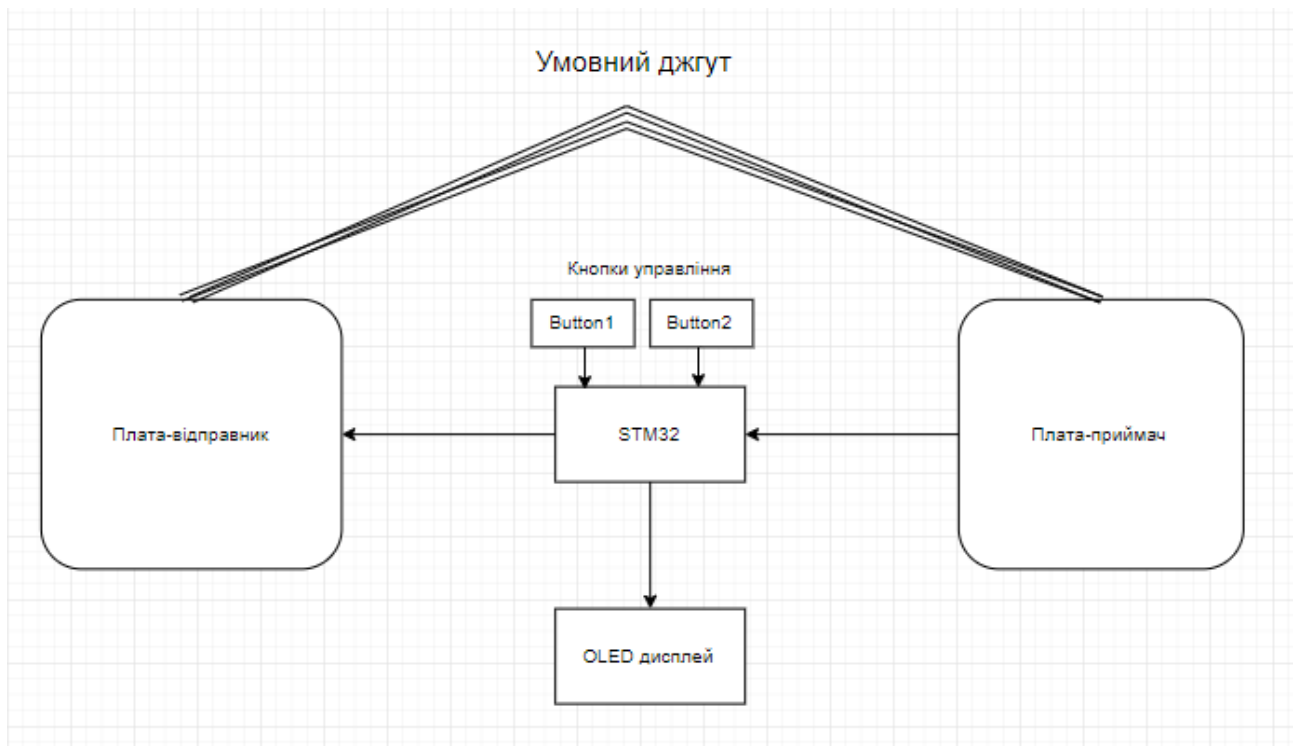


Рисунок 2.1 - Структурна схема пристрою

Кожен провідник в джгуті перевіряється окремо. Щоб досягти цієї мети, кожному провіднику призначається номер за допомогою спеціального лічильника (детальніше в розділі 3) та відбувається «прохід» по кожному з контактів. Керування переходами відбувається за допомогою двох кнопок, що відповідають за перехід на наступний контакт та перехід на попередній контакт.

На початку виконання програми відбувається ініціалізація та перевірка першого контакту - тобто відправка даних на плату-відправник для перевірки джгута. Далі відбувається зчитування з плати - приймача. МК отримує данні від плати-приймача, та проводить весь аналіз. Загалом, після зчитування байту даних, на нього накладається маска, що дозволяє розбити байт на масив, який складається з 8 елементів.

Для зручності користувача, данні виводяться на дисплей. Користувач має змогу бачити номер контакту, з якого відправився активний логічний рівень, та номер контакту на якому він був зафіксований.

2.2 Вибір елементної бази

Центральною частиною проекту є блок управління, що обробляє дані, отримані з блоку перевірки. Для аналізу даних використано мікроконтролер. Серії і характеристики розглянутих МК викладені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Параметри мікроконтролерів

| Серія мікроконтролерів | $f_{\text{такт макс}}$, МГц | Flash-пам'ять, КБайт | Обчислювальне ядро | $U_{\text{мін}}$, В |
|------------------------|------------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| STM32F3 | 72 | 512 | ARM | 2 |
| PIC32 | 120 | 2048 | MIPS | 2,3 |
| AT32 | 64 | 512 | 32-bit AVR | 2,3 |

Згідно конструкції пристрою, це може бути будь-який з мікроконтролерів серій, що підтримують інтерфейси I2C, SPI, USART. В даній реалізації системи управління було обрано мікроконтролер STM32 сімейства STM32F3. Він має декілька суттєвих переваг. По-перше - це використання ядра ARM. Максимальна частота в даному випадку не грає важливої ролі. В своєму ціновому діапазоні він не має аналогів, адже плати відлагодження на основі PIC32 дорожче в 2 рази, при схожому функціоналі [5]. Також виробник надає середовище розробки та готові бібліотеки на мові програмування C. Це значно скорочує час розробки програм, підвищує можливості їх подальшого вдосконалення [6]. Великий вибір вбудованої периферії дозволяє без надмірних зусиль об'єднувати декілька таких систем в одну, вести віддалений моніторинг, віддалено змінювати внутрішню програму контролера. В даному сімействі реалізовано декілька режимів енергозбереження, які можна програмно налаштувати [7]. Використовувати більш складніші системи (FPGA, одноплатні комп'ютери) немає сенсу через невелике, як для них, навантаження. Щодо плати налагоджування, використання саме готової системи викликане більшими фінансовими затратами на виготовлення власної плати та монтаж компонентів.

Використано плату налагоджування Nucleo STM32F303RE. Вона відповідає усім вимогам, та порівняно недорого. Серія встановленого мікроконтролеру не є флагманською. Старші версії не були розглянуті через порівняно застарілий функціонал.

Далі потрібно обрати варіант кнопки, зараз в магазинах тисячі різних типів механічних перемикачів, що ділять на 5 типів за моделлю роботи [8]:

- а) Однополюсний однопрохідний перемикач (SPST);
- б) Однополюсний двопозиційний перемикач (SPDT);
- в) Двополюсний однопрохідний перемикач (DPST);
- г) Двополюсний двопозиційний перемикач (DPDT);
- д) Кнопковий перемикач.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК61.468382.001 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 13 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Проаналізувавши принципи роботи перемикачів було обрано кнопковий перемикач PBS – 11A (рис 2.2). Це миттєвий контактний вимикач, який створює або розриває з'єднання, поки прикладено тиск. Ця кнопка повертається в своє нормальне положення після зняття тиску. Вибір кнопки такого типу також пояснюється зручністю в програмуванні, високими максимальними робочою напругою та струмом (250В та 1А). Високі граничні значення позитивно впливають на надійність друкованого вузлу.

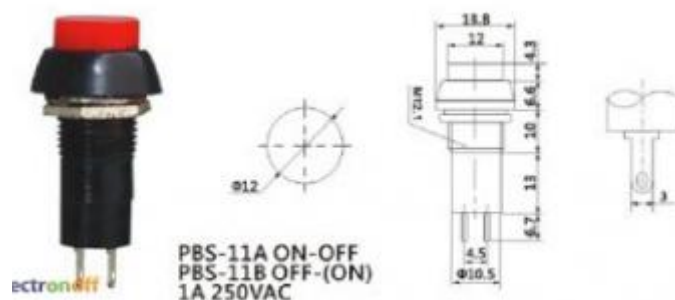


Рисунок 2.2 – кнопка PBS-11A

Важливою характеристикою пристрою для користувача є індикація в режимі роботи без ПК. Було обрано OLED дисплей з контролером SSD1106 (рис 2.3). Він чудово підходить за габаритними розмірами та має можливість працювати через SPI. Ця властивість є важливою, адже 2 канали I2C будуть задіяні для роботи з платами блоку перевірки. Також цей OLED дисплей виділяється кращою чіткістю та контрастністю зображення в порівнянні з LCD дисплеями з цього цінового діапазону, що важливо при роботі в не закритих приміщеннях або при яскравому освітленні [4].

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 14 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

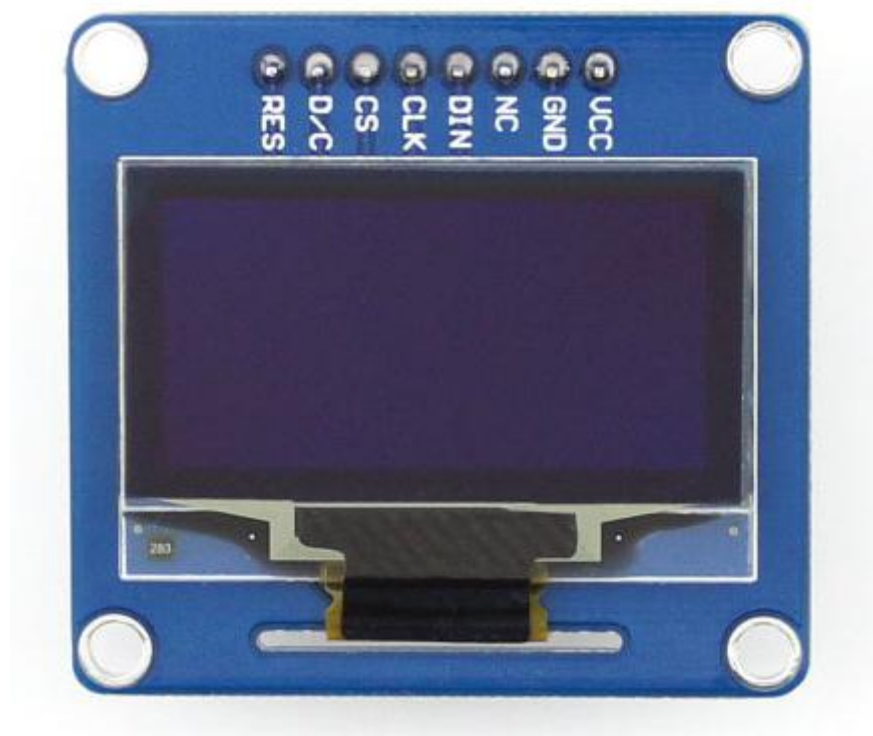


Рисунок 2.3 – Використовуваний OLED дисплей

Так як пристрій передбачає перевірку джгутів з великою кількістю провідників, використовувати для цього окремі виводи мікроконтролера – поганий варіант. Було прийнято рішення використовувати розширювачі портів PCF8574, що працюють за інтерфейсом I2C.

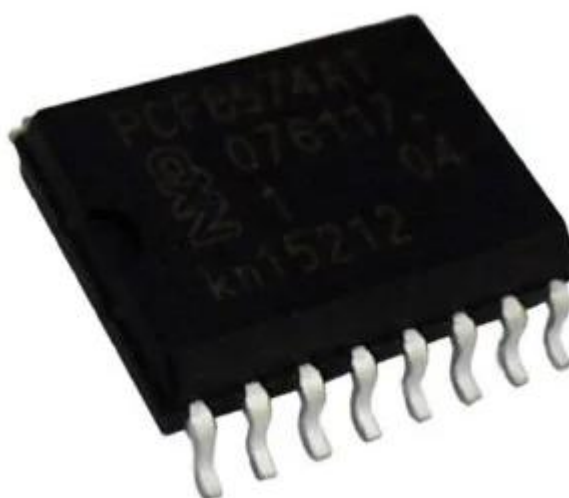


Рисунок 2.4 – Розширювач портів PCF8547

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 15 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Використання розширювачів порту дозволяє значно зекономити порти МК. Адреса пристрою формується з незмінного для всіх мікросхем префікса і 3-бітної змінної частини, яку можна задати підтягуючи три спеціально виділені контакти мікросхеми до землі або до живлення.

Існує дві модифікації цієї мікросхеми - PCF8574 і PCF8574A. Вони відрізняються одна від одної тільки значенням адресного префікса. У PCF8574 він дорівнює 0100, а у PCF8574A - 0111. Це рішення дозволяє підключити до 16-ти розширювачів з різними адресами - 8 одиниць PCF8574 і 8 одиниць PCF8574A. Так як у кожної такої мікросхеми по 8 портів, отримуємо 128 портів введення-виведення.

Порти у PCF8574 називаються «квазі-двонаправленими». Фактично, при операції запису одного байту в PCF8574 відбувається виставлення портів введення/виведення виходячи з значення відповідного порту біта даних. Причому, якщо в біт встановлений в нуль, відбувається правильна підтяжка порту до землі (рис.2.5 позн.2) .

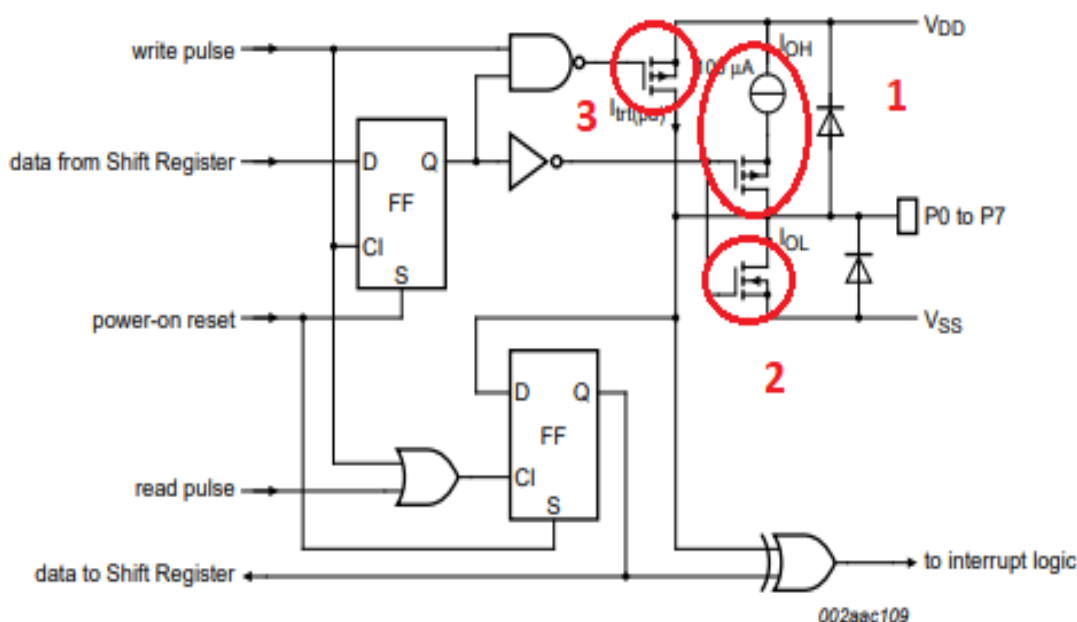


Рисунок 2.5 – Схема порту PCF8574

Якщо біт встановлений в одиницю, порт буде підтягнутий до живлення, але з обмеженням струму в 100 мкА (рис 2.5 позн.1). Тобто логічний рівень

наявний, але з такою підтяжкою сили струму не вистачить, щоб запалити світлодіод. Згідно схеми порту транзистор (рис 2.5 позн. 3) забезпечує підтяжку порту до живлення. Але він включається тільки на короткий час, щоб забезпечити швидке переключення порту в логічну одиницю. Керувати поведінкою цього транзистора (рис 2.5 позн. 3) не можна. Тому прийнято рішення, що активним рівнем буде логічний нуль. З цього рішення випливає недолік конструктивної частини пристрою - в разі розриву провідника в джгуті, визначити це можна лише перевіряючи будь-який інший провідник. Ця проблема була виправлена в програмній частині, автоматичною підтяжкою до високого рівня.

Тобто якщо блок управління відправляє на деякий контакт логічний 0, але зчитує логічну 1 – блок сигналізує про розрив провідника.

Як було описано вище, блок управління і блок перевірки з'єднуються за допомогою двох джгутів. Кожен з них складається з дев'яти провідників.

Таблиця 2.2 – Структура з'єднувального джгута

| Номер контакту | Назва | Опис |
|----------------|-------|---------------------|
| 1 | GND | Земля |
| 2 | VCC | Живлення |
| 3 | SDA | Передача даних |
| 4 | SCL | Тактування |
| 5 | INT | Преривання PCF8574 |
| 6 | ldef0 | Не використовується |
| 7 | ldef1 | Не використовується |
| 8 | N/C | Не використовується |
| 9 | N/C | Не використовується |

Провідник для живлення, землі, два для передачі даних за інтерфейсом I2C(SCL, SDA), N1, N2, INT. Два невикористаних провідника та сигнали N1,

N2, INT закладені для подальшого вдосконалення пристрою. INT – сигнал переривання для розширювачів, сигнали N1, N2 – для автоматичної індикації плати. Роз’єм для джгутів було обрано A-DS 09 A/KG-T2S (рис 2.6). Максимальні напруга та струм якого 250В та 3А. Він задовольняє всі вимоги, та зручно монтується в плату завдяки кутовим кріпленням.



Рисунок 2.6 – Роз’єм A-DS 09 A/KG-T2S

Плати блоку перевірки джгутів живляться від 3.3 В. Максимальний вхідний струм розширювачів 20 мА. Для обмеження струму по лініям SDA, SCL та INT було обрано SMD резистори 0805 фірми Panasonic.

За законом Ома:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3.3}{0.02} = 165 \text{ Ом} \quad (2.1)$$

Потужність потрібного резистора було визначено з формулою (2.2)

$$P = I^2 * R = 0.02^2 * 1000 = 0.4 \text{ Вт} \quad (2.2)$$

Але, враховуючи, що це значення опору та потужності для найгіршого випадку було обрано резистор номіналом 1 кОм та потужністю 0,5 Вт. На схемі електричній принциповій можна бачити ще резистори R4-R7. Ці резистори потрібні для функції автоаитчної ідентифікації плати БП, на даний час ця функція знаходиться в розробці, тому вони передбачені в схемі електричній принциповій, але їх характеристики ще не визначені. Подібна ситуація склалася

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 18 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

з системою зовнішнього живлення, кнопкою увімкнення та кнопкою переключення режимів.

Для стабілізації напруги на вході потрібно додати конденсатори. Конденсатори було вибрано за наступними параметрами: значення ємності, спосіб монтажу, робоча напруга.

Згідно [9] було обрано керамічні конденсатори номіналом 10 мкФ та 0,1 мкФ в корпусі 0805, виробник Kemet.

2.3 Розробка схеми електричної принципової

При розробці електронно-обчислювальних пристроїв одним з основних документів проектної документації є принципова схема. Саме вона визначає основний склад компонентів електрообладнання та взаємозв'язків між ними. Принципова схема - фундамент електротехнічного проекту, і від правильного її виконання залежить подальше виконання монтажних схем, схем з'єднань і всієї супровідної документації.

Для плати БУ необхідно забезпечити:

- а) з'єднання блоку управління та блоку перевірки;
- б) елементи живлення від зовнішніх джерел;
- в) елементи індикації та управління;

Основним джерелом живлення є плата відлагодження Nucleo STM32F303RE до якої підключається зовнішнє живлення, але також передбачено зовнішнє живлення блоку управління за допомогою роз'єму живлення.

Для управління пристроєм потрібно передбачити керуючі кнопки, що забезпечать перехід між контактами роз'єму. Також передбачити перемикач для управління режимами роботи та увімкнення пристрою (роз'єми PLS - 3). Також забезпечити індикацію через OLED-дисплей, для цього встановити роз'єм, для створення ліній передачі сигналів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 19 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

З'єднання блоку управління та блоку перевірки відбувається через роз'єми A-DS 09 A/KG-T2S, що містять 9 контактів для передачі-прийому за плат блоку перевірки.

Для плати блоку перевірки джгутів необхідно забезпечити зв'язок розширювачів з роз'ємами. Для вирішення цієї задачі використовуються роз'єми, що розміщуються в платі блоку перевірки. До роз'ємів під'єднуються виводи розширювачів портів. До роз'ємів, що встановлені на платі БУ під'єднані виводи розширювачів для запису/зчитування значень логічних рівнів.

2.4 Розміщення компонентів та трасування плат

Основним критерієм розміщення конструктивних елементів (КЕ) було обрано мінімальну сумарну довжину провідників. Цей критерій вирішить проблему мінімізації довжини провідників, а отже забезпечить максимально щільне розміщення КЕ.

Початкове розміщення посадкових місць можна бачити на рис 2.7. Найбільшу кількість зв'язків мають роз'єми на яких встановлена STM32 - SFH11-PBPC-D10-ST-BK, тому потрібно їх розмістити першими. Також потрібно взяти до уваги, що на їх розміщення впливає розмір самої STM32.

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| p1 | p2 | p3 | p4 | p5 |
| p6 | p7 | p8 | p8 | p10 |
| p11 | p12 | p13 | p14 | p15 |
| p16 | p17 | p18 | p19 | p20 |
| p21 | p22 | p23 | p24 | p25 |

Рисунок 2.7 – Посадкові місця на платі БУ

Плата STM32 займе більшу частину плати, тому роз'єми для її встановлення потрібно розмістити першими. Далі компоненти розміщуються за кількістю зв'язків. Найбільше контактів мають роз'єми, для з'єднання з платами БП, які для зручності потрібно розмістити на різних сторонах плати. На рис 2.8 зображено розміщення роз'ємів SFH11-PBPC-D10-ST-BK – XS1, XS2 та A-DS 09 A/KG-T2S – XP1, XP6.

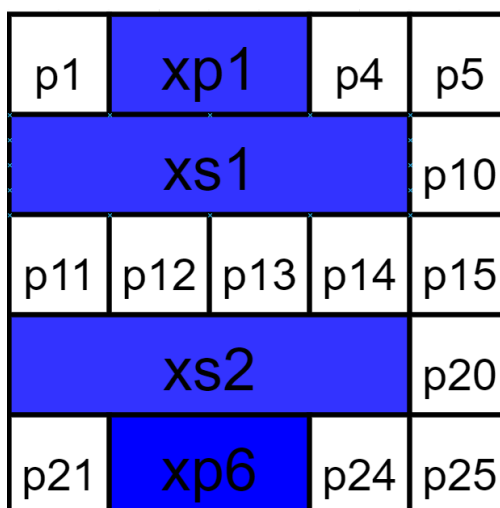


Рисунок 2.8 – Розміщення роз'ємів SFH11-PBPC-D10-ST-BK та A-DS 09 A/KG-T2S

Наступним за кількістю зв'язків є роз'єм до якого підведені керуючі сигнали для OLED – дисплею. Ці сигнали проходять через роз'єм XS2, тому його потрібно розташувати біля нього (рис 2.9).

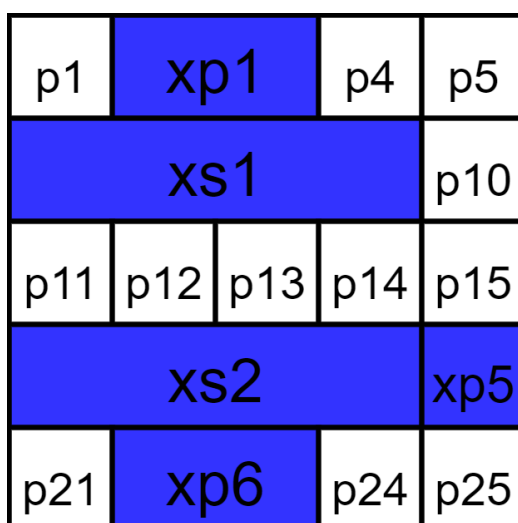


Рисунок 2.9 – Розміщення роз'єму KLS1-202-08-S-B KLS

Далі потрібно розмістити роз'єми PLS-3, вони потрібні для підключення кнопок увімкнення та переключення режиму роботи пристрою. Вони малогабаритні, тому їх можна розмістити на одному контактному майданчику. Найбільше зв'язків у двох PLS – 3 з роз'ємом XS1, тому потрібно їх розмістити на майданчику P4 (рис 2.10).

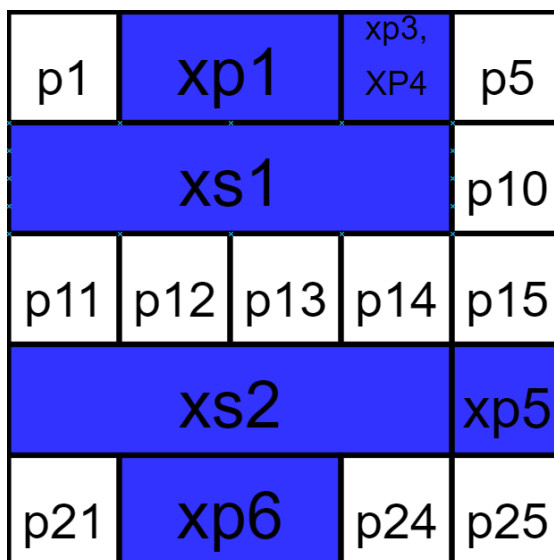


Рисунок 2.10 – Розміщення роз'ємів PLS-3

Останнім елементом для розміщення, є елемент PCB Mount DC Power Jack, що потрібний для зовнішнього живлення. Цей елемент має один зв'язок з PLS-3, тобто логічно розмістити його на майданчику P5 (рис 2.11).

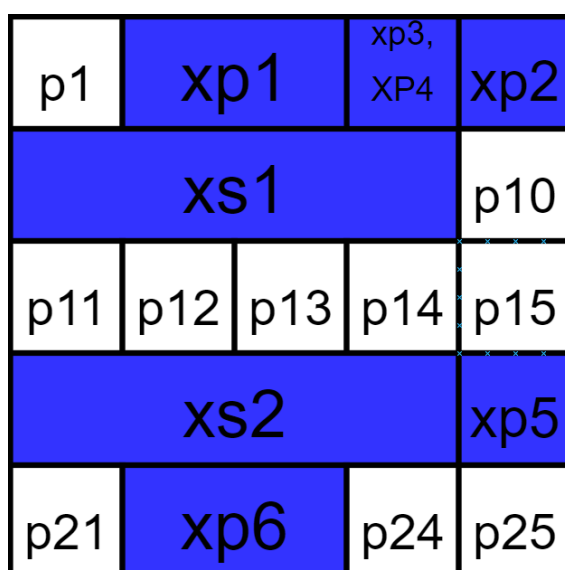


Рисунок 2.11 – Розміщення роз'ємів P3 DC Power Jack

Розміщення елементів на платі БП. Початкове розміщення посадкових місць можна бачити на рис 2.12.

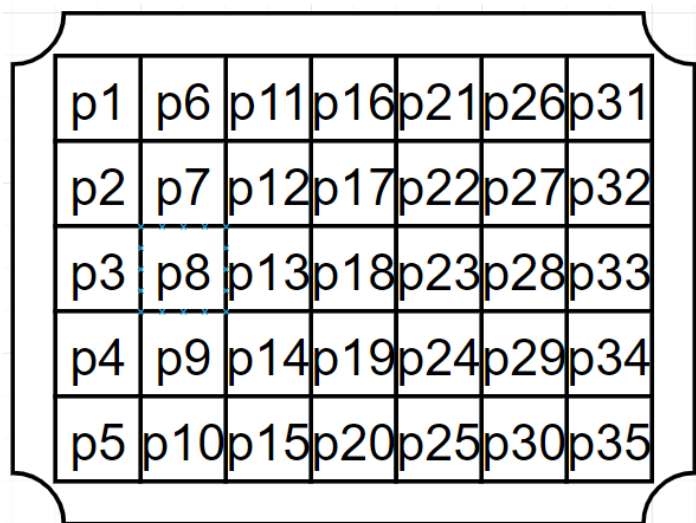


Рисунок 2.12 – Розміщення контактних майдначиків на платі БП

Для початку потрібно розмістити роз'єми для перевірки, адже вони займають найбільше місця на платі. Найбільшим за кількістю контактів та є роз'єм DIN 41612 CONN DIN HDR 100POS PCB GOLD – XP3 (рис 2.13).

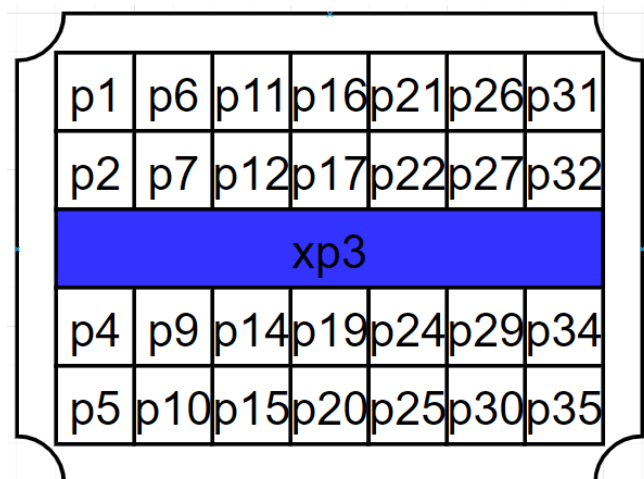


Рисунок 2.12 – Розміщення роз'єму DIN 41612 CONN DIN HDR 100POS
PCB GOLD

Наступний за величиною та кількістю контактів є роз'єм DIN 41612 CONN DIN HDR 90POS PCB GOLD – XP2 (рис2.13). Він розміщується поряд х XP3, адже розміщення роз'ємів з великою кількістю в центрі плати дозволить зручно провести трасування.

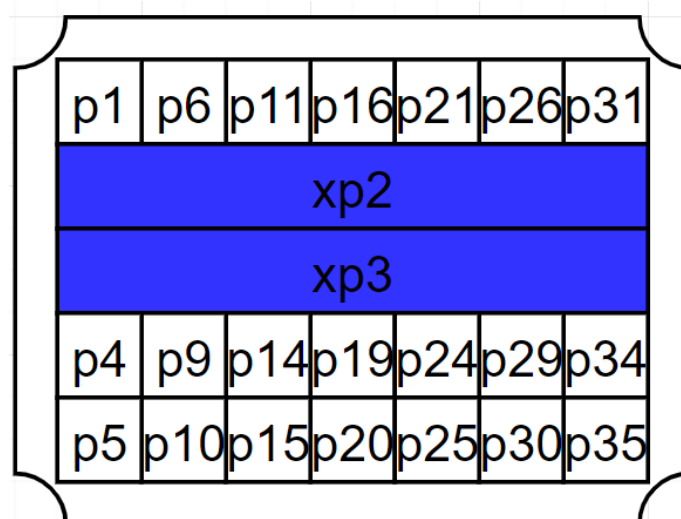


Рисунок 2.13 – Розміщення роз'єму DIN 41612 CONN DIN HDR 90POS
PCB GOLD

Наступний за величиною та кількістю контактів є роз'єм DIN 41612 CONN DIN HDR 48POS PCB GOLD – XP4 (рис 2.14).

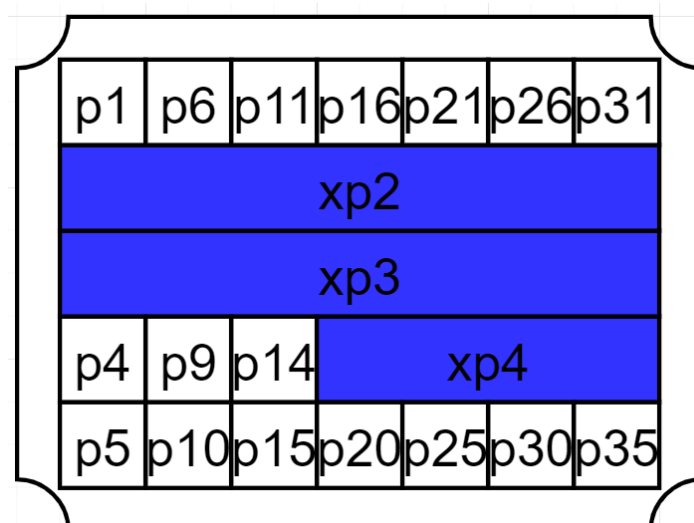


Рисунок 2.14 – Розміщення роз'єму DIN 41612 CONN DIN HDR 48POS
PCB GOLD

Після встановлення найгабаритніших елементів, потрібно розмістити мікросхеми РСF8574, адже це елементи з найбільшою кількістю зв'язків. Мікросхеми DD3 – DD7 мають найбільшу кількість зв'язків з компонентом ХР2, тому потрібно розмістити їх над ним (рис 2.15).

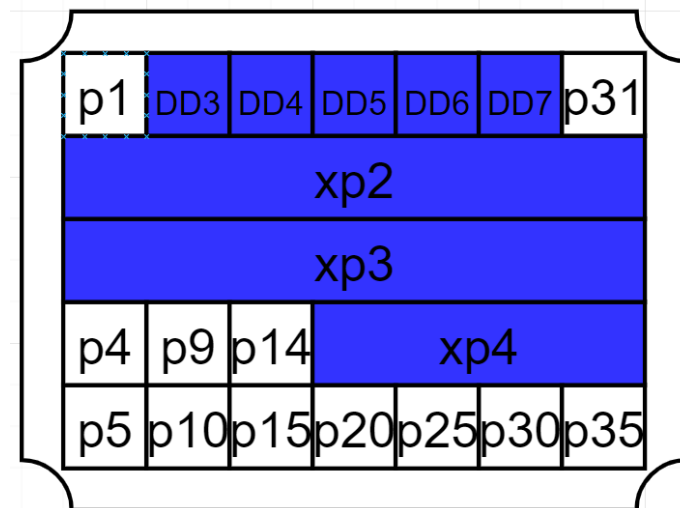


Рисунок 2.15 – Розміщення мікросхем DD3-DD7

Далі потрібно розмістити мікросхеми DD1 та DD2. Мікросхема DD2 з'єднується з елементом ХР3 та роз'ємом ХР1, що в свою чергу з'єднується з елементом DD7. Тобто найкраще буде розмістити DD2 на позицію Р14, а ХР1 на Р25 (рис.2.16).

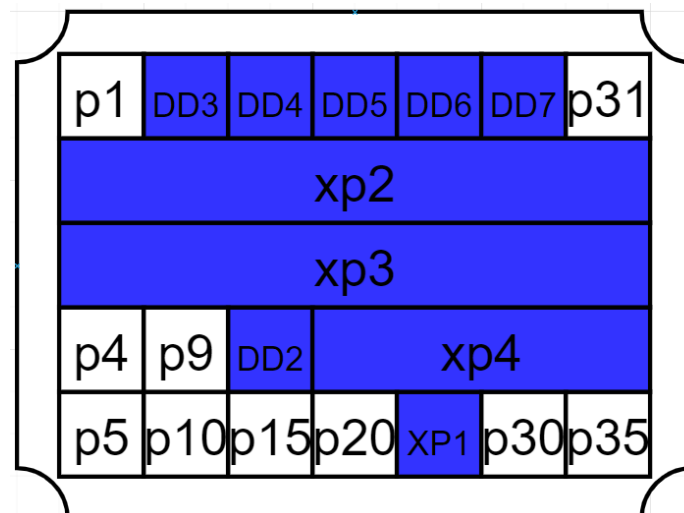


Рисунок 2.16 – Розміщення мікросхеми DD2 та роз'єму ХР1

Мікросхема DD1 має найбільше зв'язків з компонентом XP3, тому DD1 потрібно розмістити на майданчику P9 (рис.2.17).

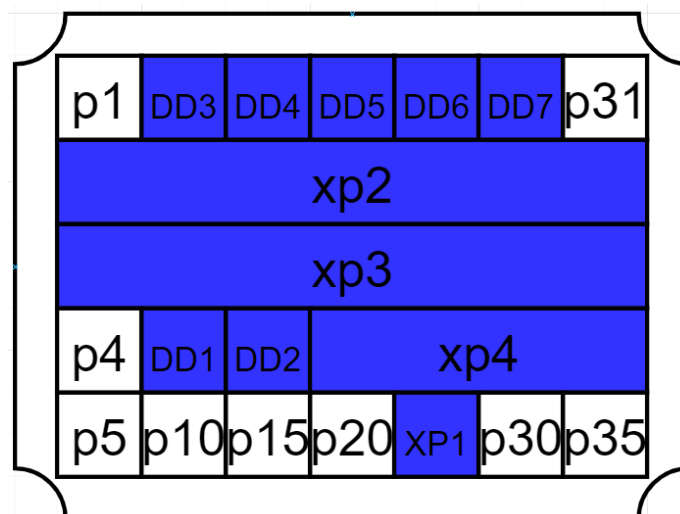


Рисунок 2.17 – Розміщення мікросхеми DD1

2.5 Розробка проекту в Altium Design

Створення проекту в Altium Design складається з декількох етапів:

- Створення бібліотеки УГП. До неї входять графічні позначення елементів згідно ГОСТ та 3D – моделі;
- Створення схеми електричної принципової;
- Розміщення компонентів та трасування друкованої плати.

Одним з найважливіших етапів розробки є розміщення компонентів та трасування плати. При неправильному розміщенні елементів зростає довжина провідників, що в результаті може призвести до неочікуваних наслідків, і правильно розроблений ДВ може непрацювати через неякісне трасування. Наприклад, при розробці плати БП, стало питання проведення струму між шарами, але як відомо, створення будь-яких отворів, що порушують рівномірність розповсюдження струму, призводить до збільшення індуктивності та погіршує якість сигналу. Чим більший струм потрібно передати через отвір, тим більшим потрібно робити його діаметр, що збільшить небажану індуктивність, тому прийнято робити більше отворів з меншим діаметром та розташовувати їх щільніше (рис 2.16).

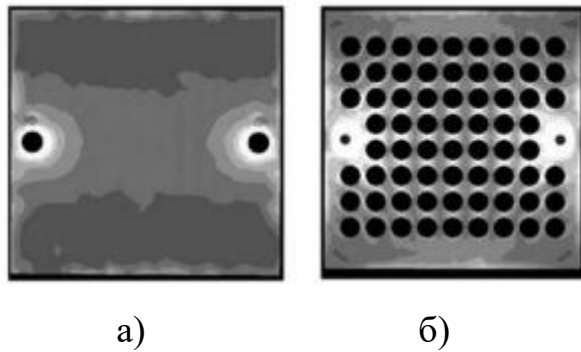


Рисунок 2.16 – Розподілення струму в різних площинах а) без матриці отворів; б) з матрицею отворів

2.6 Опис роботи схеми

Блок управління складається з двох ідентичних плат – плати-відправника та плати-приймача. Роз'єми розміщені на платі-відправнику, їх симетричні прийомники розміщені на платі-приймачу. При подачі живлення на плату STM32F303 автоматично перевіряється перший контакт, після цього користувач може перейти на наступний контакт за допомогою двох кнопок, що спрацьовують за перериванням.

Данні від користувача зчитуються розширювачами на платі-відправнику, байт даних надсилається на плату отримувач через джгут, що перевіряється. Розширювачі зчитують данні з плати-приймача та передають їх за інтерфейсом I2C на STM32, де проводиться їх аналіз. Номер провідника в джгуті, з якого був відправлений логічний нуль і куди він прийшов, виводиться на дисплей.

Висновок до розділу

В цьому розділі було розроблено структурну схему пристрою. Вона містить всі блоки, для забезпечення умов, поставлених в технічному завданні. Пристрій складається з трьох плат. Одна плата являє собою блок управління, дві інші складають блок перевірки. При виборі елементної бази враховувалися показники надійності, такі як максимальний струм та напруга. Для передачі та

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 27 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

аналізу даних використовується мікроконтролер STM32F303. Для доступу до контактів роз'єму – розширювач портів PCF8574. На основі структурної схеми і вибраної компонентної бази було спроектовано схеми електричні принципові для БУ – ДК61.468382.001 ЕЗ для БП - ДК61.468382.002 ЕЗ.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 28 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

В якості керуючого пристрою використовувався відлагоджувальний модуль на базі мікроконтролера STM32F303RE. Мікроконтролер забезпечує керування модулями та аналіз даних. STM32 контролює OLED дисплей за допомогою інтерфейсу SPI, та розширювачі PCF8574 за допомогою інтерфейсу I2C. Налаштування мікроконтролера здійснено в середовищі CubeMX(рис.3.1).

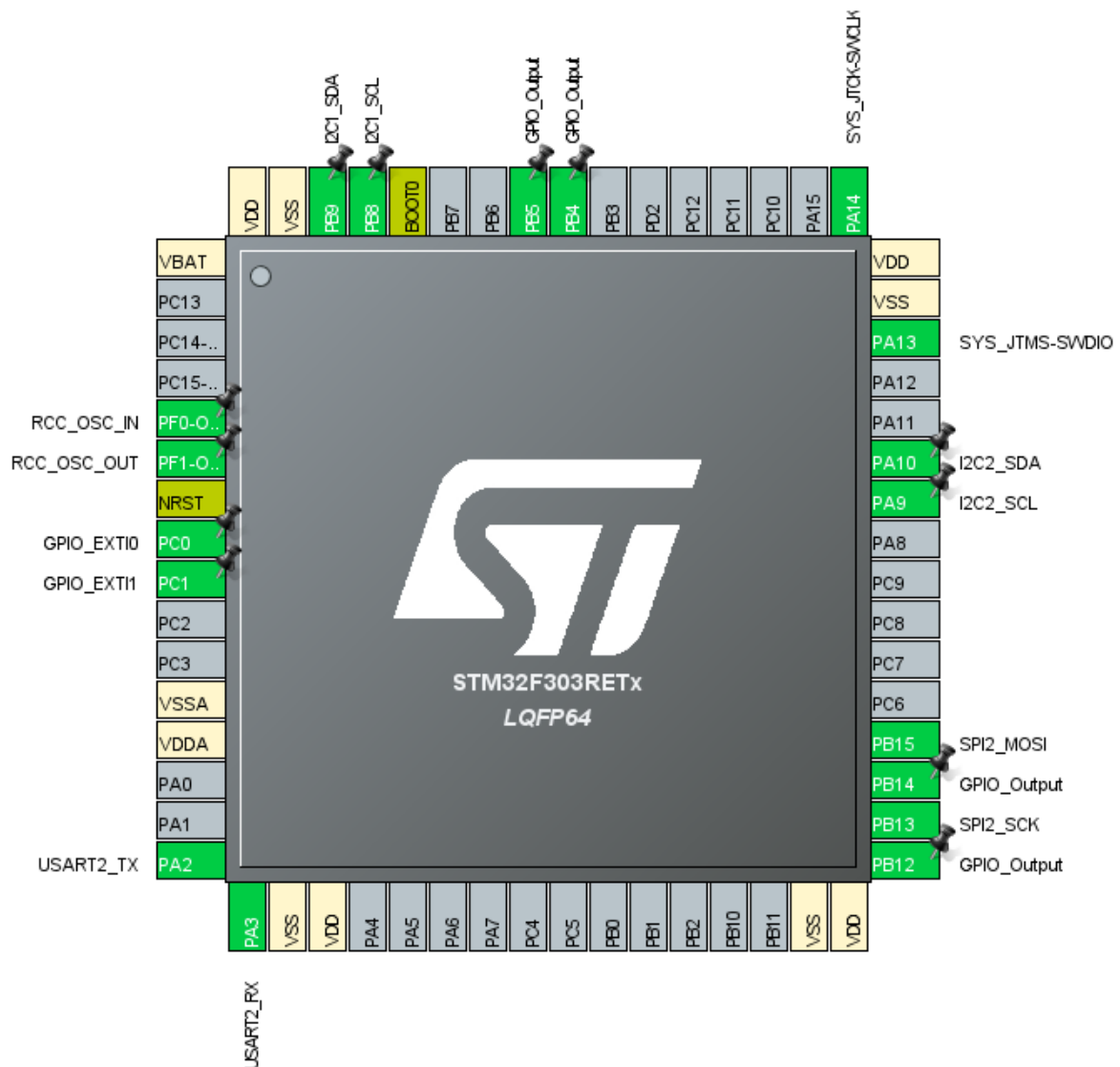


Рисунок 3.1 – Налаштування мікроконтролера в CubeMX

3.1 Налаштування мікроконтролеру

Виходи PF0, PF1 налаштовані для зовнішнього тактування від кварцового генератора, що розміщений на платі. До виходів PC0, PC1 підключені виводи кнопок управління, тому ці виходи налаштовані в режим переривання, та програмно підтягнуті до високого рівня. В майбутньому планується зв'язати STM32 з комп'ютером через COM-порт, тому виходи PA2 і PA3 налаштовані для роботи по USART. Також налаштовані 2 канали I2C для зв'язку з платами, на яких розпаяні роз'єми для перевірки джгутів.

Як вже відомо з розділу 2, дисплей працює по інтерфейсу SPI, але окрім MOSI, MISO, CLK, CS дисплей має ще ряд виводів:

- а) Reset – зкидання, призначений на вивід PB14 мікроконтролеру;
- б) D/C – сигнал надходження даних/команд назначений на вивід PB4 мікроконтролеру;
- в) NC – не назначається.

3.2 Опис роботи програми в режимі без ПК

Виконання програми починається з налаштування всієї периферії, портів та інтерфейсів сполучення. Далі викликається функція ініціалізації дисплею та розширювачів портів. Згідно логіки програми, щоб ініціалізувати розширювачі логічним нулем, потрібно записати в них високий логічний рівень. Згідно документації [10], інформаційні виходи розширювачів вже підтягнуті до високого рівня.

Далі в основному циклі викликається функція equalizer(), що є основною в програмі. В ній викликається функція test_func(), що відповідає за відправлення байту даних на плату-відправник. Блок-схема функції наведена в додатку Б на рисунку Б.1.

Спочатку відбувається ініціалізація потрібних змінних, далі відбувається перевірка на переповнення лічильника. Змінна oled_counter є глобальною, і її

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 30 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

значення відповідає номеру провідника в джгуті, що перевіряється. Значення змінюється по перериванню від кнопок введення, тобто вона ітерується або декрементується при натисненні на відповідну кнопку. Переповнення цього лічильника означає, що всі контакти в роз'ємі максимального розміру перевірені.

Розрахунок значення номеру контакту, який перевірятиметься відбувається в функції `test_func()`, додаток Б, рисунок Б.2 за допомогою ділення значення `oled_counter`. Щоб визначити порядковий номер розширювача потрібно поділити значення лічильника на 8, а номер контакту на розширювачі знаходиться як залишок від ділення на 8.

Наприклад, перевірка контакту роз'єму під номером 10.

$$10 / 8 = 1,$$

де 10 – номер контакту;

8 – кількість інформаційних виводів розширювача.

$$10 \% 8 = 2$$

Тобто логічний нуль відправиться з 2-го виводу 1-го розширювача, при нумерації розширювачів з нуля.

Так як розширювачі працюють через інтерфейс I2C, кожен з них має свою адресу, яка була призначена при розробці плати. За допомогою конструкції мови С «switch» призначено порядковому номеру розширювача відповідну адресу. Такий підхід також використовується для визначення вмісту даних, що передаються по визначеній адресі. Далі в циклі перевіряються на співпадіння значення адреси отриманої з алгоритму вище з кожною адресою з списку. При співпадінні цих адрес, відправляється байт даних з логічним нулем в одному з бітів. На усі розширювачі з іншими адресами відправляється значення логічної одиниці.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 31 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Наступною викликається функція `return_zero_spot()`, що послідовно зчитує байт даних з кожного розширювача. На зчитане значення накладається маска, щоб записати кожен біт в масив, як окреме значення. Далі кожен масив додається в кінцевий масив, для зручного аналізу. В циклі `for` аналізується кожен елемент кінцевого масиву. Якщо елемент масиву рівний нулю, його порядковий номер записується в масив `zero_holder_array`. Повертаємось до основної функції – `equalaizer()`, після викликів обох функцій, в масиві `zero_holder_array` містяться порядкові номери кожного нульового біту, тобто значення типу `int`. Але щоб вивести ці значення на екран, потрібно конвертувати їх в тип `char`, що відбувається за допомогою функції `sprintf`.

Потрібно зазначити, що розширювачі на двох платах працюють в різних режимах, в режимах читання і запису, що означає, згідно даташиту, що розширювачі матимуть різні адреси, навіть якщо хардверні частини їх адрес однакові, це потрібно враховувати при програмуванні.

3.3 Опис роботи програми в режимі з ПК

Під час роботи приладу в режимі з ПК виконується функція `equalaizer_pc()`. Ця функція виконується і при передачі і при отриманні даних. Після ініціалізації змінних запускається підпрограма перевірки надходження даних. Якщо данні надходять, запускається функція зчитування, в іншому випадку починається формування даних для передачі на ПК. Пакет для передачі зображено в таблиці 3.1. Передача відбувається за інтерфейсом USART через COM-порт.

Таблиця 3.1 – Пакет передачі даних

| Номер 16 бітного слова | Старший байт | Молодший байт | Коментар |
|------------------------|--------------|---------------|---------------------|
| 1 | 7E | 7E | Слово синхронізації |

| | | | |
|---|----|-------|---|
| 2 | ID | Count | ID – ідентифікатор посилки Count – кількість даних у посилці |
|---|----|-------|---|

Кінець таблиці 3.1

| | | |
|----|-----------------------|--|
| 3 | Порт який перевіряємо | Порт з якого потрібно відправити данні |
| 4 | Порт прийому 1 | Порт на який повинні прийти данні |
| 5 | Порт прийому 2 | |
| 6 | Порт прийому 3 | |
| 7 | Порт прийому 4 | |
| 8 | Порт прийому 5 | |
| 9 | Порт прийому 6 | |
| 10 | Порт прийому 7 | |
| 11 | Порт прийому 8 | |
| 12 | Порт прийому 9 | |
| 13 | Порт прийому 10 | |
| 14 | CRC16 | Контрольна сума розраховується по 1-13 слову |

Висновок до розділу

В цьому розділі описано розроблене програмне забезпечення для STM32 та описано інтерфейс програми для комп'ютера. Програмне забезпечення для STM32 написано мовою програмування C, для ПК – з використанням фреймворку Qt.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 33 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 34 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ

4.1 Вибір та обґрунтування типу друкованої плати

Згідно ДСТУ 2646-94 існує 3 типи друкованих плат: односторонні (ОДП), двосторонні (ДДП), багатошарові (БДП). Вони можуть бути виконані на гнучкій (гнучка друкована плата, ГДК) чи жорсткій основі.

ОДП характеризуються простотою конструювання та виготовлення, можливістю забезпечити підвищені вимоги до точності виконання провідного малюнку, встановлення навісних елементів на поверхню плати зі сторони що протилежна пайці, без додаткової ізоляції, можливістю використання перемичок з провідного матеріалу. ОДП мають такі недоліки: низькі монтажні та трасувальні можливості, низька механічна міцність кріплення елементів. Зазвичай ОДП застосовують для монтажу побутової ЕОА, в силовій електроніці, в НЧ пристроях.

ДДП забезпечують високу щільність монтажу і гарну механічну міцність кріплення, ефективне використання поверхні друкованої плати. Недоліками є більша вартість та складність виготовлення. Використовуються в вимірювальній техніці, системах керування, автоматичного регулювання.

БДП у порівнянні з ОДП і ДДП характеризуються підвищеною щільністю монтажу, стійкістю до механічних і кліматичних впливів, зменшеними розмірами та кількістю контактів. Недоліками є висока трудомісткість виготовлення, складність отримання високої точності друкованого рисунку та суміщення шарів, низька ремонтпридатність.

Для реалізації друкованого вузла пристрою, що розробляється, доцільно використовувати ДДП для блоку управління, оскільки вона дасть можливість забезпечити малі розміри друкованого вузла при невеликій вартості виготовлення. ОДП збільшить результуючі габаритні розміри друкованого вузла. Використання БДП не є раціональним, оскільки нема потреби в великій

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 35 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

кількості друкованих провідників. Для блоку перевірки обрано БДП, адже потрібно забезпечити розміщення великої кількості провідників.

4.2 Вибір та обґрунтування матеріалу друкованої плати

Матеріал друкованої плати обирається в відповідності з ГОСТ 10316-76. Для виготовлення друкованих плат використовують фольговані та нефольговані листові діелектричні матеріали. Найширше використовують фольговані діелектрики. Для їх виробництва використовують папір або склотканину, просочені синтетичними композиційними смолами, а також полімерні плівки з лавсану, фторопласту тощо. На поверхню листових діелектричних матеріалів з одного або з двох боків, залежно від призначення друкованих плат, наклеюють мідну фольгу товщиною 20, 35 або 50 мкм. Таким чином виготовляють одnobічні або двобічні фольговані діелектрики.

Основними матеріалами для виготовлення ДДП є гетинакс і склотекстоліт. Гетинакс – спресовані шари електроізоляційного паперу, просочені фенольною смолою. Склотекстоліти – спресовані шари склотканини, просочені епоксидною смолою. Обидва матеріали мають малу водопроникність (0,2-0,8 % при $T = 260\text{ }^{\circ}\text{C}$), великий поверхневий опір (104 МОм), термостійкість матеріалу протягом 1000 годин. Але по інших електромеханічних параметрах склотекстоліт кращий за гетинакс. Тому вибираємо для друкованої плати склотекстоліт. В таблиці 4.1 приведено марки фольгованого склотекстоліту.

Для побудови друкованого вузла пристрою обираємо склотекстоліт марки FR-4. Вибір обумовлено широким застосуванням склотекстоліту цієї марки в сучасних приладах, високими експлуатаційними характеристиками, зокрема, класом вогнестійкості 94V-0, та відсутністю шкідливих речовин в складі матеріалу. Товщину фольги оберемо 35 мкм, що є достатнім для більшості малопотужних пристроїв, в тому числі, і пристрою, що розробляється. Товщину

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 36 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

основи з фольгою оберемо 1,5 мм для забезпечення задовільних механічних характеристик ДП.

Таблиця 4.1 - Матеріали друкованих плат

| Назва матеріалу | Марка матеріалу | ГОСТ, ТУ | Товщина фольги, мкм | Товщина основи з фольгою, мм |
|--|-----------------|------------------|---------------------|------------------------------|
| Склотекстоліт фольгований двобічний | СФ-2-35 | ГОСТ 10316-68 | 35 | 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 |
| | СФ-2-50 | | 50 | 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 |
| | FR-4 | IPC4101C | 12, 18, 35, 70, 105 | 0,05 – 3,5 |
| Склотекстоліт теплостійкий фольгований двобічний | СТФ-2 | ТУ 16-503.161-77 | 35 | 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 |

4.3 Вибір та обґрунтування форми та розміру друкованої плати

Для найбільш раціонального компоновання блоку управління, ефективного використання простору та спрощення монтажу обрано квадратну форму ДП для БУ та прямокутну для БП.

Згідно ГОСТ 10317-79 довжини сторін друкованої плати повинні бути кратними 2,5 мм при довжині до 100 мм та 5 мм при довжині до 350 мм.

Окрім того, співвідношення сторін повинно бути не більшим ніж 1:3. З урахуванням вимог ГОСТу, а також сумарної площі поверхні елементів друкована плата блоку управління є розміром 100x100 мм. Плати блоку перевірки є прямокутної форми. Габаритні розміри плати – 150x70 мм.

4.4 Вибір та обґрунтування класу точності

ГОСТ 23751-86 передбачає п'ять класів точності (табл. 4.2). В таблиці 4.3 приведено геометричні параметри виводів мікросхем. Виходячи з наведених розмірів достатньо буде третього класу точності, але, враховуючи складність

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 37 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

трасування було обрано четвертий клас точності, що доволить виготовляти провідники між контактними майданчиками інших компонентів.

Таблиця 4.2 - Класи точності друкованих плат

| Опис | Умовне позначення | Номінальні значення основних розмірів для класу точності | | | | |
|--|-------------------|--|------|------|------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Ширина друкованого провідника | t , мм | 0,75 | 0,45 | 0,25 | 0,15 | 0,10 |
| Відстань між краями сусідніх елементів | S , мм | 0,75 | 0,45 | 0,25 | 0,15 | 0,10 |
| Гарантований поясок | b , мм | 0,30 | 0,20 | 0,10 | 0,05 | 0,025 |
| Відношення мінімального діаметру металізованого отвору до товщини ДП | γ | 0,40 | 0,40 | 0,33 | 0,25 | 0,20 |

Таблиця 4.3 - Розміри виводів конструктивних елементів

| КЕ | Ширина виводу, мм | Відстань між центрами двох сусідніх виводів, мм | Відстань між двома сусідніми виводами, мм |
|--------------------|-------------------|---|---|
| PCF8574 | 0,44 | 1,27 | 0,85 |
| Nucleo-STM32F303RE | 1,02 | 2,54 | 1 |
| A-DS 09 A/KG-T2S | 1,2 | 2,71 | 1 |

4.5 Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати

Розрахунок ширини друкованих провідників для силових ліній

Для розрахунку ширини друкованого провідника потрібно визначити мінімально допустиму ширину провідника з огляду на струм, що через нього протікає та мінімально допустиму ширину провідника з огляду на падіння напруги на ньому. Окрім того мінімальна ширина провідника обмежується класом точності плати, а тому остаточну ширину визначають за формулою:

$$b_{\text{дп}} = \max (b_{\text{min ГОСТ}}, b_{\text{min I}}, b_{\text{min U}}), \quad (4.1)$$

де $b_{\text{min ГОСТ}}$ – мінімальна ширина друкованого провідника згідно ГОСТ 23751-86, мм;

$b_{\text{min I}}$ - мінімальна ширина силового друкованого провідника за постійним струмом, мм;

$b_{\text{min U}}$ - мінімальна ширина силового друкованого провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому, мм.

Згідно обраних класів точності:

а) $b_{\text{min ГОСТ}} = 0,15$ мм – плата блоку управління;

б) $b_{\text{min ГОСТ}} = 0,15$ мм – плата блоку перевірки.

Мінімальна ширина друкованого провідника за постійним струмом визначається за наступною формулою:

$$b_{\text{min I}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (4.2)$$

де I_{max} – максимально можливий струм у колі живлення та «землі», А;

$j_{\text{доп}}$ - допустима густина струму для друкованої плати, виготовленої комбінованим позитивним методом, $j_{\text{доп}} = 48 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$;

$t_{\text{пров}}$ – товщина друкованого провідника, мм.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 39 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Визначимо максимальний струм споживання I_{max} . Для цього складемо таблицю струмів споживання всіх мікросхем приладу.

Таблиця 4.4 - Максимальний струм споживання мікросхем приладу

| Компонент | $I_{жив}, мА$ | Кількість |
|-------------------------|---------------|-----------|
| STM32(блок управління) | 800 | 1 |
| PCF8574(блок перевірки) | 100 | 7 |

$I_{max} = 0,8$ А – для блоку управління;

$I_{max} = 0,7$ А – для блоку перевірки.

Товщина друкованого провідника знаходиться за наступною формулою:

$$t_{пров} = h_{\phi} + h_{ГМ} + h_{ХМ}, \quad (4.3)$$

де h_{ϕ} – товщина фольги, мм;

$h_{ГМ}$ – товщина шару гальванічно осадженої міді, мм;

$h_{ХМ}$ – товщина шару хімічно осадженої міді, мм.

В данному випадку $h_{\phi} = 0,035$ мм, $h_{ГМ} = 0,055$ мм, $h_{ХМ} = 0,0065$ мм.

$$t_{пров} = 0,035 + 0,055 + 0,0065 = 0,0965 \text{ мм},$$

Отже, мінімальна ширина силового провідника за максимально можливим постійним струмом у ньому така:

$$b_{min I} = \frac{0,8}{48 \cdot 0,0965} = 0,1727 \text{ (мм)} - \text{значення для БУ},$$

$$b_{min I} = \frac{0,7}{48 \cdot 0,0965} = 0,1511 \text{ (мм)} - \text{значення для БП}.$$

Мінімальна ширина силового провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому обчислюється за наступною формулою:

$$b_{minU} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot L_{пров}}{t_{пров} \cdot U_{доп}}, \quad (4.4)$$

де ρ - питомий опір провідника, виготовленого комбінованим методом, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$;

$L_{\text{пров}}$ - довжина найдовшого друкованого провідника на друкованій платі, м;

$U_{\text{доп}} = 5\%V_{\text{cc}}$ - допустимий спад напруги на друкованому провіднику, В.

Для даного проекту $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$, $L_{\text{пров}} = 0,3051$ м.

$$b_{\min U} = \frac{0,0175 \cdot 0,1727 \cdot 0,3051}{0,0965 \cdot 0,25} = 0,0382 \text{ мм} - \text{значення для БУ},$$

$$b_{\min U} = \frac{0,0175 \cdot 0,1511 \cdot 0,3051}{0,0965 \cdot 0,25} = 0,0334 \text{ мм} - \text{значення для БП}.$$

Отже, ширина силового друкованого провідника має бути не меншою, ніж:

$$b_{\text{дп}} = \max(b_{\min \text{ГОСТ}}, b_{\min I}, b_{\min U}) = b_{\min \text{ГОСТ}} = 0,1727 \text{ (мм)} - \text{для БП},$$

$$b_{\text{дп}} = \max(b_{\min \text{ГОСТ}}, b_{\min I}, b_{\min U}) = b_{\min \text{ГОСТ}} = 0,1727 \text{ (мм)} - \text{для БП}.$$

Найближчим до цього значення із номінального ряду є ширина провідника 0,2 мм. Але на друкованій платі провідники землі і живлення зроблені шириною 0,5 мм, що створить певний запас по максимальному струму, який може протікати через провідник.

Визначення мінімальної ширини провідника

Мінімальна ширина провідника визначається за формулою:

$$b_{\min} = br + 1.5 * h_{\phi} + 0.03, \quad (4.5)$$

де br – мінімальна ширина провідника для обраного класу точності, мм;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 41 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$b^r = 0.15$ мм для четвертого класу точності згідно таблиці 4.1.

Отже:

$$b_{min} = b^r + 1.5 * h + 0.03 = 0.15 + 1.5 * 0.035 + 0.03 = 0.23 \text{ мм}$$

Максимальна ширина провідника знаходиться за формулою:

$$b_{max} = b_{min} + 0,02 = 0.23 + 0,02 = 0,25 \text{ мм} \quad (4.6)$$

Розрахунок діаметру монтажної отвору

Визначимо діаметри монтажних отворів для роз'ємів DIN 41612 CONN DIN HDR 90POS PCB GOLD (4.7.1), DIN 41612 CONN DIN HDR 48POS PCB GOLD (4.7.2), A-DS 09 A/KG-T2S (4.7.3) та SFH11-PBPC-D10-ST-BK (4.7.1). Значення діаметру контакту в даташитах для двох перших роз'ємів 0,8 мм, для третього – 1 мм, для останнього – 0,4 мм. Діаметр монтажної отвору розраховується за формулою:

$$d_{mo} = d_{be} + \Delta d_{mo} + r, \quad (4.7)$$

де d_{be} - діаметр виводу елемента;

Δd_{mo} – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру монтажної отвору, мм;

r – мінімальний просвіт між виводом елемента та стінками монтажної отвору, мм.

Для даного проекту $\Delta d_{mo} = 0,1$ мм, $r = 0,1 \div 0,2$ мм.

$$d_{mo1} = 0,8 + 0,1 + 0,1 = 1 \text{ мм}, \quad (4.7.1)$$

$$d_{mo2} = 0,8 + 0,1 + 0,1 = 1 \text{ мм}, \quad (4.7.1)$$

$$d_{mo3} = 1 + 0,1 + 0,1 = 1,2 \text{ мм}, \quad (4.7.3)$$

$$d_{mo4} = 0,4 + 0,1 + 0,1 = 0,6 \text{ мм}. \quad (4.7.4)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 42 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Визначення діаметра контактної площини

Діаметр контактної площини визначається за формулою:

$$D_{min} = D_{min1} + 1.5h_{\phi} + 0.03, \quad (4.8)$$

де D_{min1} – мінімальний ефективний діаметр контактної майданчика;

h_{ϕ} – товщина мідної фольги ($h_{\phi}=0.035$ мм).

$$D_{min1} = 2 * (b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км}), \quad (4.9)$$

де d_{max} – максимальний діаметр просвердленого отвору в ДП;

$b_{по}=0.05$ мм – ширина пояса КМ для 4-го класу точності;

$\delta_o=0.07$ мм – похибка розташування центру отвору відносно вузла КС для 4-го класу точності;

$\delta_{км}=0.05$ мм – похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС для 4-го класу точності.

Максимальний діаметр просвердленого отвору ДП:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15), \quad (4.10)$$

де d – діаметр просвердленого отвору, мм;

Δd – відхилення від номінального діаметру отвору, $\Delta d=0.05$ мм.

Розрахунки діаметру максимального розміру для різних виводів наведено нижче.

Для роз'ємів DIN 41612 CONN DIN HDR 90POS PCB GOLD, DIN 41612 CONN DIN HDR 48POS PCB GOLD та DIN 41612 CONN DIN HDR 100POS PCB GOLD:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15) = 1 + 0.05 + 0.15 = 1.2 \text{ мм},$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 43 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$D_{min} = 2 \left(b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км} \right) = 2 \left(0,2 + \frac{1,2}{2} + 0,15 + 0,25 \right) = 2,4 \text{ мм},$$

$$D_{min} = D_{min1} + 1,5h_{\phi} + 0,03 = 2,4 + 1,5 * 0,035 + 0,03 = 2,48 \text{ мм}.$$

Для роз'єму A-DS 09 A/KG-T2S:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15) = 1,2 + 0,05 + 0,15 = 1,4 \text{ мм},$$

$$D_{min1} = 2 \left(b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км} \right) = 2 \left(0,2 + \frac{1,4}{2} + 0,15 + 0,25 \right) = 2,6 \text{ мм},$$

$$D_{min} = D_{min1} + 1,5h_{\phi} + 0,03 = 2,6 + 1,5 * 0,035 + 0,03 = 2,68 \text{ мм}.$$

Для роз'єму SFH11-PBPC-D10-ST-BK:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15) = 0,6 + 0,05 + 0,15 = 0,8 \text{ мм},$$

$$D_{min1} = 2 \left(b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км} \right) = 2 \left(0,2 + \frac{0,8}{2} + 0,15 + 0,25 \right) = 2 \text{ мм},$$

$$D_{min} = D_{min1} + 1,5h_{\phi} + 0,03 = 2 + 1,5 * 0,035 + 0,03 = 2,1 \text{ мм}.$$

Визначення мінімальної відстані між провідником та контактною площиною

Мінімальна відстань між провідником та контактною площиною визначається за формулою:

$$l_{ПКМ \min} = L_o - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп} \right), \quad (4.11)$$

де L_o — відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС;

D_{max} - максимальний діаметр КМ, мм;

b_{max} - максимальна ширина провідника, мм;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 44 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$\delta_{км}$ - похибка розташування центра КМ відносно вузла КС, $\delta_{км}=0.05$ мм;

$\delta_{сн}$ - похибка, яка враховує зміщення провідника, $\delta_{сн}=0.05$ мм.

$L_0 = 1$ мм (найгірший випадок).

Отже, розрахуємо мінімальну відстань між провідником і контактною площиною за формулою (4.11):

$$l_{ПКМ\ min} = 1 - \left(\frac{1,2}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,175 \text{ мм}$$

Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками (між краями провідників)

Мінімальна відстань між двома сусідніми провідниками (між краями провідників) розраховується за формулою:

$$l_{ПП\ min} = L_0 - (b_{max} + 2 \cdot \delta_{сн}), \quad (4.12)$$

$$l_{ПП\ min} = L_0 - (b_{max} + 2 \cdot \delta_{сн}) = 1 - (0.25 + 2 \cdot 0.05) = 0.65 \text{ мм.}$$

Визначення мінімальної відстані між двома контактними площин

Мінімальна відстань між двома контактними площинами розраховується за формулою:

$$l_{\min\ КМ\ КМ} = L_{01} - (D_{max} + 2 \cdot \delta_{КМ}), \quad (4.13)$$

де L_{01} - відстань між центрами сусідніх контактних площин, мм;

$$L_{01} = 2,54 \text{ мм.}$$

$$l_{\min\ КМ\ КМ} = L_{01} - (D_{max} + 2 \cdot \delta_{КМ}) = 2.54 - (1.2 + 2 \cdot 0.05) = 1.24 \text{ мм}$$

Отримане значення задовольняє 4-ий клас точності. – як бачимо, між двома КМ можна провести друкований провідник 3-го класу точності друкованого монтажу. Отже, розрахунки виконані вірно.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 45 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4.6 Електричний розрахунок друкованої плати

Розрахунок падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику

Найдовший друкований провідник на платі блоку управління – 203,5 мм (сигнал VCC), на платі блоку перевірки – 305 мм (сигнал SCL). В такому випадку максимальний струм для плати блоку управління дорівнює всьому спожитому струмі в схемі – 800 мА в найгіршому випадку. Для плати блоку перевірки обрано значення струму в 100 мА, як мінімальне значення сили струму потрібне для роботи одного розширювача.

$$U_{\text{пр1}} = \frac{I_{\text{max}} \cdot \rho \cdot l_{\text{пр}}}{t_{\text{пр}} \cdot b_{\text{дп}}}, \quad (4.14)$$

де ρ – питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП, $\rho = 0.0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

I_{max} – струм в провіднику, А;

$l_{\text{пр}}$ – максимальна довжин друкованого провідника, м;

$t_{\text{пр}}$ – товщина провідника, мм;

$b_{\text{пр}}$ – ширина найдовшого друкованого провідника, мм.

Значення $b_{\text{пр}} = 0,5 \text{ мм}$ для обох випадків, $t_{\text{пр}} = 0,0965 \text{ мм}$.

$$U_{\text{пр1}} = \frac{0,8 \cdot 0,0175 \cdot 0,203}{0,0965 \cdot 0,5} = 0,0589 \text{ (В)} - \text{значення для БУ},$$

$$U_{\text{пр2}} = \frac{0,1 \cdot 0,0175 \cdot 0,305}{0,0965 \cdot 0,5} = 0,011 \text{ (В)} - \text{значення для БП}.$$

Обчислене значення спаду напруги не повинно перевищувати 5% напруги живлення схеми (для живлення +5 В: 0,25 В), оскільки ширина провідника розраховується таким чином, щоб спад напруги знаходився у вище зазначених межах. Як бачимо, розраховане значення падіння напруги не перевищує дозволене значення.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 46 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Розрахунок потужність втрат друкованої плати.

$$P_{\Pi} = 2\pi f E_{\text{жив}}^2 \operatorname{tg} \delta C, \quad (4.15)$$

де f – робоча частота електричної схеми;

$E_{\text{жив}}$ - напруга живлення пристрою (максимальна напруга 5В);

$\operatorname{tg} \delta$ - тангенс кута діелектричних втрат (для склотекстоліту 0,002);

C – власна ємність друкованої плати.

$$C = \frac{0,009 \varepsilon S}{h_{\text{дп}}}, \quad (4.16)$$

де S – площа металізації, мм^2 ;

$h_{\text{дп}}$ - товщина друкованої плати, мм .

Площа металізації - 16858.54 мм^2 для блоку управління та 28673.13 мм^2 для однієї плати блоку перевірки;

Отже:

$$C1 = \frac{0,009 \cdot 4,5 \cdot 16858.54}{1,5} = 455,18 \text{ пФ}$$

Потужність втрат друкованої плати блоку управління дорівнює:

$$P_{\Pi 1} = 2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 0,002 \cdot 455,18 = 142,92 \text{ мкВт},$$

$$C2 = \frac{0,009 \cdot 4,5 \cdot 28673.13}{1,5} = 774,17 \text{ пФ}.$$

Потужність втрат друкованої плати блоку перевірки дорівнює:

$$P_{\Pi 1} = 2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 0,002 \cdot 774,17 = 241,8 (\text{мкВт})$$

Розрахунок ємності двох паралельних провідників:

$$C = 0.12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left(\lg \frac{2S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right)^{-1}, \quad (4.17)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 47 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

де S - відстань між двома паралельними провідниками, ($S = 1 \text{ мм}/0.4 \text{ мм}$);
 $b_{\text{пр}}$ – ширина друкованого провідника, ($b_{\text{пр}} = 0.5 \text{ мм}$);
 $t_{\text{пр}}$ – товщина друкованого провідника, ($t_{\text{пр}} = 0.0965 \text{ мм}$);
 $l_{\text{пр}}$ – довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників,
($l_{\text{пр}} = 6 \text{ см}/4 \text{ см}$).

Значення приведені в форматі блок управління/блок перевірки.

$$C1 = 0.12 * 4,5 * 60 * \left(\lg \frac{2}{0.5+0.0965} \right)^{-1} = 61,67(\text{пФ}) - \text{значення для БУ},$$

$$C2 = 0.12 * 4,5 * 40 * \left(\lg \frac{0,8}{0.5+0.0965} \right)^{-1} = 169,43(\text{пФ}) - \text{значення для БП.}$$

Розрахунок взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини

Розрахунок взаємної індуктивності двох паралельних провідників обчислюється за наступною формулою:

$$M = 0,02 \left(l_{\text{пр}} \cdot \lg \left(\frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} \right) - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + L_0 \right) \quad (4.18)$$

де $l_{\text{пр}}$ – довжина перекриття паралельних провідників, ($l_{\text{пр}} = 6 \text{ см}/4 \text{ см}$);
 L_0 – відстань між вісьовими лініями двох паралельних провідників, ($L_0 = 1.5 \text{ см} / 0.9 \text{ см}$).

$$M1 = 0,02 \left(6 \cdot \lg \left(\frac{\sqrt{36 + 2,25} + 6}{1,5} \right) - \sqrt{36 + 2,25} + 6 \right) =$$

$$= 0,1054 (\text{мкГн}) - \text{значення для БУ},$$

$$M1 = 0,02 \left(4 \cdot \lg \left(\frac{\sqrt{16+0,81}+4}{0,9} \right) - \sqrt{16+0,81} + 4 \right) = 0,082 (\text{мкГн}) -$$

значення для БП.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК61.468382.001 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 48 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4.7. Розрахунок надійності друкованого вузла

Основними показниками надійності (кількісними характеристиками властивостей або групи властивостей технічного виробу) є:

- а) P – ймовірність безвідмовної роботи;
- б) Q – ймовірність відмови пристрою;
- в) λ – інтенсивність відмов;
- г) $T_{\text{ср}}$ - середній час напрацювання на відмову.

Для обчислення показників надійності пристрою необхідно визначити показники надійності для кожного компонента друкованого вузла (наведені у таблицях 4.5 та 4.6).

Середній час напрацювання на відмову шукають як:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda}, \quad (4.19)$$

де λ – сумарна інтенсивність відмов, (год^{-1}).

Для врахування впливу режиму роботи на інтенсивність відмов вводять коефіцієнт навантаження, що дорівнює відношенню навантаження в робочому режимі і навантаженню в номінальному режимі.

Коефіцієнт навантаження для резисторів:

$$K_H = \frac{P_{\text{роб}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{U_{\text{роб}}^2}{R \cdot P_{\text{ном}}}, \quad (4.20)$$

$$K_H = \frac{10,89}{1000 \cdot 0,5} = 0,02.$$

Для конденсаторів:

$$K_H = \frac{U_{\text{раб}}}{U_{\text{ном}}}, \quad (4.21)$$

$$K_H = \frac{3,3}{10} = 0,3.$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 49 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Коефіцієнт навантаження для електричних компонентів:

$$K_H = \frac{U_{\text{раб}}}{U_{\text{ном}}} \quad (4.22)$$

Визначимо результуючу інтенсивність відмов ДВ пристрою. ДВ відноситься до наземної апаратури, експлуатується в лабораторних умовах.

Інтенсивність відмов та коефіцієнт навантаження ІС та інших ЕРЕ визначимо з джерел, наданих виробниками. Кліматичне виконання приладу УХЛ1.1, що встановлює максимальну температуру роботи в +40 °С. Даний друкований вузол відноситься до наземної рухомої електрорадіоапаратури, тому вибираємо $\alpha_e = 15$ [11]. Коефіцієнт ат (поправочний температурний коефіцієнт) обираємо згідно узагальненої залежності поправочного коефіцієнта $\alpha_{1,2}$ від температури і коефіцієнта навантаження на рисунку 4.1 [12].

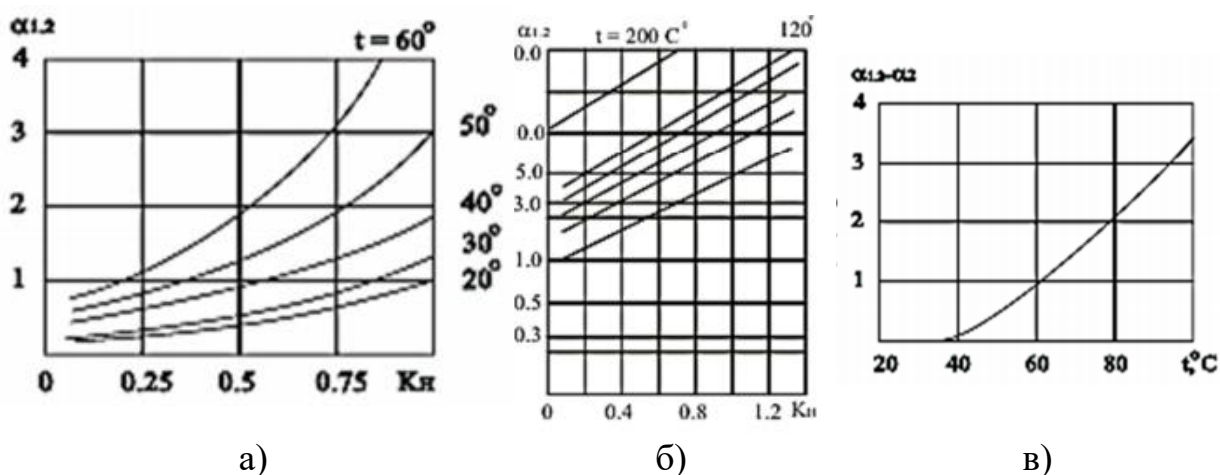
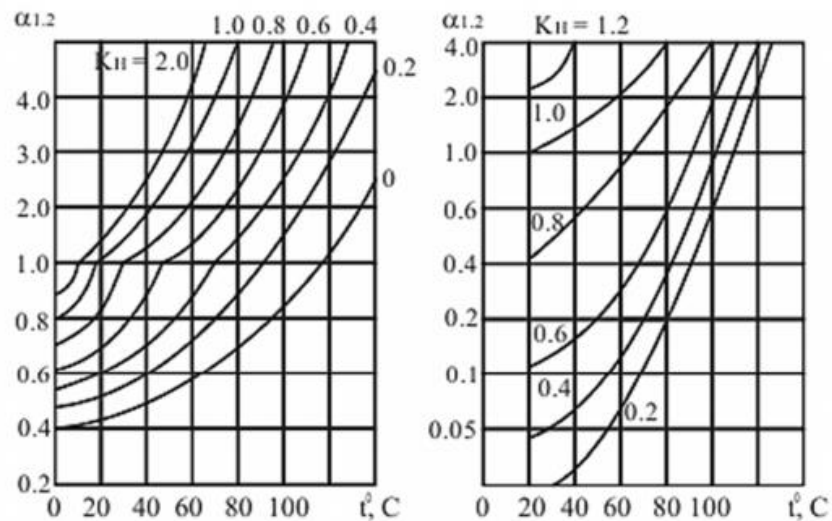


Рисунок 4.1 - Узагальнені залежності поправочного коефіцієнта $\alpha_{1,2}$ від температури і коефіцієнта навантаження для а) для роз'ємів; б) для напівпровідникових цифрових ІС; в) для пайки.



а)

б)

Рисунок 4.2 - Узагальнені залежності поправочного коефіцієнта $\alpha_{1,2}$ від температури і коефіцієнта навантаження для а) резисторів; б) конденсаторів

Таблиця 4.5 - Показники надійності компонентів БУ

| Найменування | К-ть | Інтенсивність відмов | K_n | a_t | a_e | $\lambda * 10^{-6}$ | Сума |
|-----------------|------|----------------------|-------|-------|-------|---------------------|--------|
| STM32F303 | 1 | 0,2 | 0,41 | 8 | 15 | 9,84 | 78,735 |
| Плата друкована | 1 | 2 | 1 | 1 | 15 | 30 | |
| Пайка виводів | 122 | 0,005 | 0,5 | 1 | 15 | 4,575 | |
| Роз'єми | 7 | 0,1 | 1 | 2 | 15 | 21 | |
| Кнопка | 2 | 0,2 | 0,02 | 1 | 15 | 0,12 | |
| Дисплей | 1 | 0,88 | 1 | 1 | 15 | 13,2 | |

Загальна інтенсивність відмов – $78,735 * 10^{-6} (\text{год}^{-1})$.

Знаходимо середній час напрацювання на відмову:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{78,735 * 10^{-6}} = 127008 \text{ год} \approx 120 \text{ тис. год.}$$

Середній час напрацювання складає приблизно 14,5 років. За рік напрацювання (8760 годин) імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ та імовірність відмови $Q(t)$ обраховується за формулами (4.23) та (4.24) відповідно.

$$P_{\text{річне}} = e^{-\lambda_p \cdot t} \quad (4.23)$$

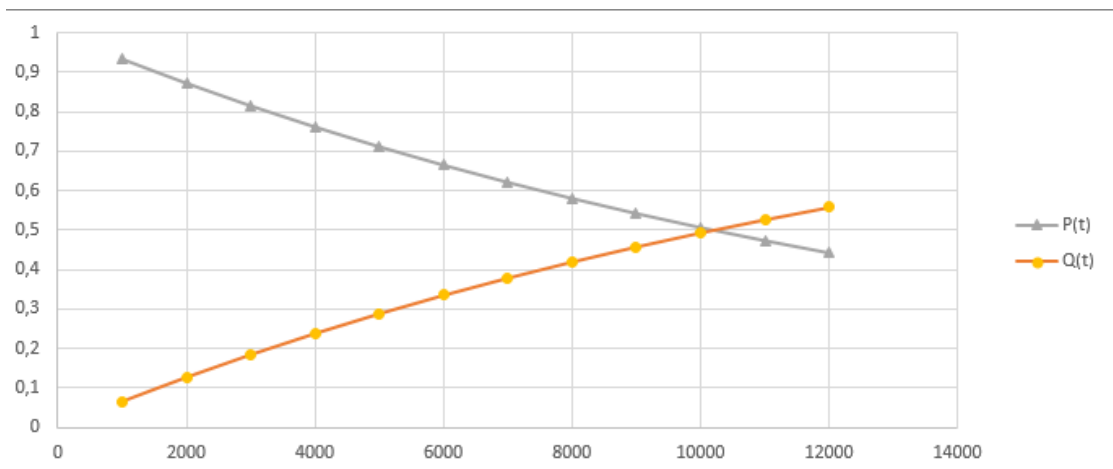
де t – час, год;

λ – інтенсивність відмов, год^{-1} .

$$P_{\text{річне}} = e^{-\lambda_p \cdot t} = e^{-78,235 \cdot 10 \cdot 8760}$$

Знаючи $P_{\text{річне}}$ знаходимо $Q_{\text{річн}}$ як:

$$Q_{\text{річн}} = 1 - P_{\text{річн}} = 1 - 0,93 = 0,065 \quad (4.24)$$



Графік ймовірності відмови і безвідмовної роботи на рисунку 4.4.

Рисунок 4.3- Графік залежності ймовірності відмов і безвідмовної роботи ДВ БУ від часу

Отриманий результат (~147000 год) задовольняє вимогам ТЗ. В схемі не передбачене резервування, оскільки прилад і без цього відповідає вимогам ТЗ (20000 год). Висока надійність приладу досягається за рахунок використання інтегральної схеми, на якій встановлена велика кількість периферії, оскільки

рівень її інтеграції такий, що забезпечує дуже малу інтенсивність відмов. Використання у схемі роз'ємів, які є джерелом відмов, знижує надійність. Також надійність зменшує дисплей, адже його коефіцієнт відмови сягає 0,88.

Таблиця 4.6 - Показники надійності компонентів БП

| Найменування | К-ть | Інтинсивність відмов | K_n | a_t | a_e | $\lambda * 10^{-6}$ | Сума |
|-----------------|------|----------------------|-------|-------|-------|---------------------|-------|
| PCF8574 | 7 | 0,2 | 0,55 | 8,5 | 15 | 98,175 | 148,9 |
| Плата друкована | 1 | 2 | 1 | 1 | 15 | 30 | |
| Пайка виводів | 389 | 0,005 | 0,5 | 1 | 15 | 14,588 | |
| Роз'єми | 4 | 0,1 | 1 | 2 | 15 | 12 | |
| Резистори | 3 | 0,044 | 0,02 | 0,2 | 15 | 0,008 | |
| Конденсатори | 2 | 0,022 | 0,33 | 0,4 | 15 | 0,087 | |

Загальна інтенсивність відмов – $148,9 * 10^{-6} (\text{год}^{-1})$.

Середній час напрацювання на відмову для БП:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{148,9 * 10^{-6}} = 67178 \text{ год} \approx 67 \text{ тис. год.}$$

Середній час напрацювання складає приблизно 7,6 років. За рік напрацювання (8760 годин) імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ та імовірність відмови $Q(t)$ обраховується за формулами:

$$P_{\text{річне}} = e^{-\lambda_p * t} = e^{-148,9 * 10^{-6} * 8760} = 0,86,$$

$$Q_{\text{рчін}} = 1 - P_{\text{рчін}} = 1 - 0,86 = 0,14.$$

Графік ймовірності відмови і безвідмовної роботи на рисунку 4.4.

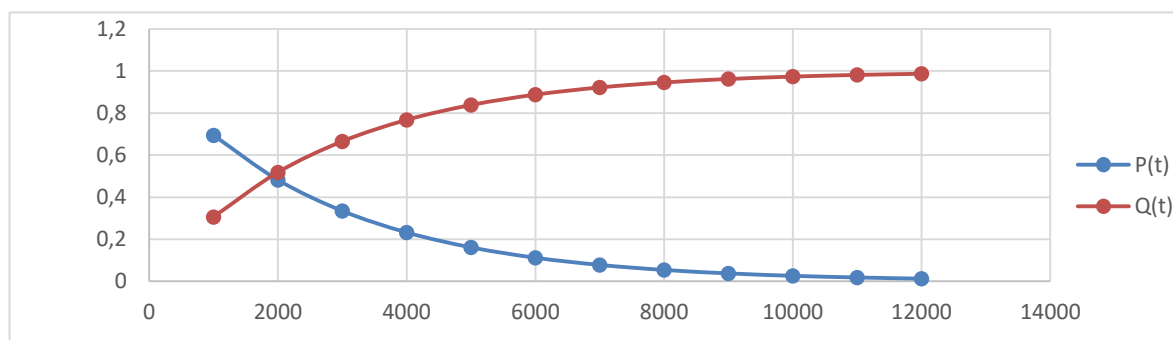


Рисунок 4.4- Графік залежності ймовірності відмов і безвідмовної роботи ДВ БП від часу.

Отриманий результат (~40000 год) задовольняє вимогам ТЗ (20000 год). В цьому випадку значення надійності не велике, в порівнянні з значенням надійності БУ, це можна пояснити великою кількістю ІС, адже інтенсивність відмов ІС складає 66% від сумарного значення відмов.

Також потрібно розрахувати надійність всього пристрою. Три блоки з'єднані послідовно (рис 4.5).

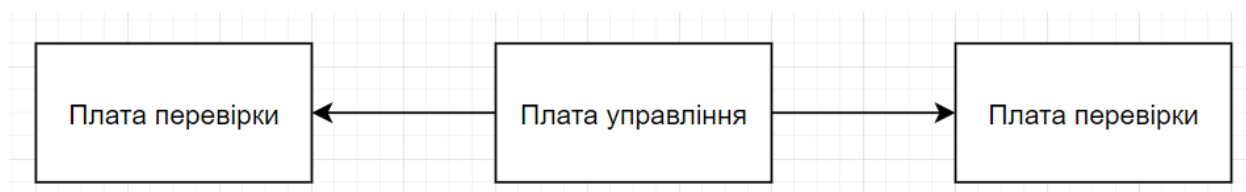


Рисунок 4.5 - З'єднання друкованих вузлів

Для послідовного з'єднання значення сумарної надійності знаходиться за формулою:

$$P_p = P_1 * P_2 * ... * P_n \quad (4.22)$$

де P_n – ймовірність безвідмовної роботи кожного з вузлів.

$$P_{річне} = P_{ПБП} * P_{ПБУ} * P_{ПБП} = 0,86 * 0,934 * 0,86 = 0,7,$$

$$Q_{\text{рчін}} = 1 - P_{\text{рчін}} = 1 - 0,7 = 0,3.$$

Сумарне значення відмов елементів – 366 (год⁻¹). Звідси середній час напрацювання на відмову:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{366 * 10^{-6}} = 27322 \text{ год} \approx 27 \text{ тис. год.}$$

Графік ймовірності відмови і безвідмовної роботи на рисунку 4.6.

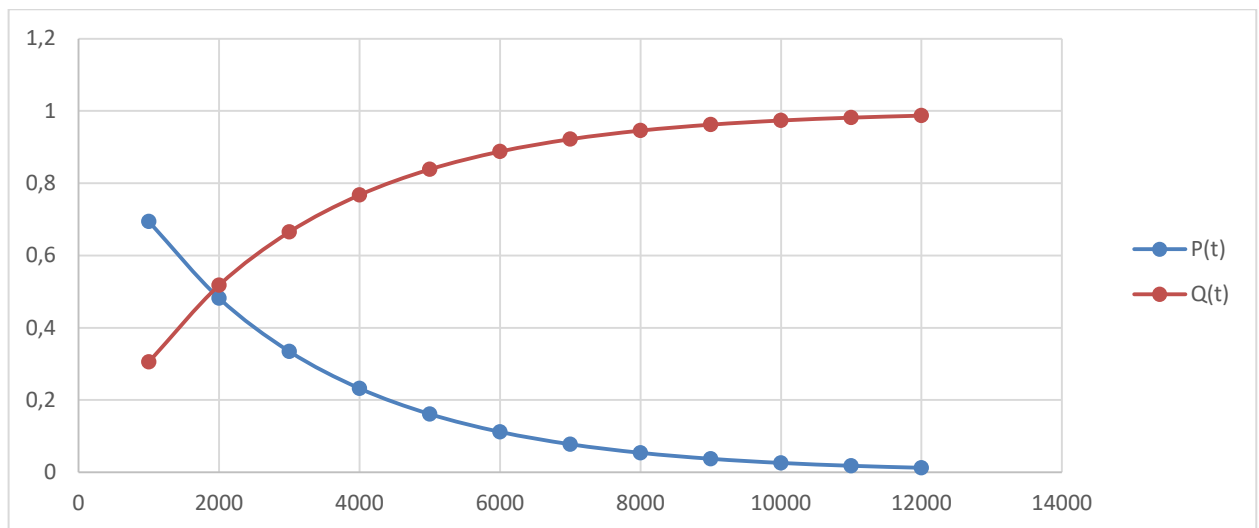


Рисунок 4.6 - Графік залежності ймовірності відмов і безвідмовної роботи конструкції від часу.

Це значення задовольняє умову ТЗ, тому додаткових заходів не потребується.

4.8 Розрахунок віброміцності друкованого вузла

Для забезпечення віброміцності друкованої плати необхідно виконання наступних вимог:

- а) відсутність в конструкції механічних резонансів;
- б) обмеження амплітуди вібропереміщення значеннями, що виключають небезпечні механічні напруження.

Плати розроблюваного пристрою мають розміри a (мм) \times b (мм) \times δ (мм) = 100 x 100 x 1,5 та 150 x 70 x 1,5. Сумарна маса елементів дорівнює $m_E = 120$ (г), коефіцієнт перенавантаження $n = 8$, частота вібрацій 60 Гц.

Основні параметри склотекстоліту:

в) тимчасовий опір $\sigma_T = 105$ МПа;

г) модуль Юнга $E = 3,2 \cdot 10^{10}$ Па;

д) коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,22$;

е) показник згасання $\varepsilon = 0,06$;

ж) питома маса $\rho = 2050 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

з) питома густина $\nu = 2,05 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$;

и) коефіцієнт запасу міцності $n_1 = 2$.

Визначимо маси друкованих плат за наступною формулою:

$$m_{\text{дп}} = a \cdot b \cdot \delta \cdot \rho \quad (4.23)$$

$m_{\text{дп}} = 0,10 \cdot 0,10 \cdot 0,0015 \cdot 2050 = 0,0307(\text{кг}) = 30,7$ (г) значення для БУ,

$m_{\text{дп}} = 0,15 \cdot 0,07 \cdot 0,0015 \cdot 2050 = 0,0323(\text{кг}) = 32,3$ (г) значення для БП.

Таблиця 4.7 - Маса елементів БУ

| Елемент | Кількість | Маса, г | Загальна маса, г | Сума |
|----------------------|-----------|---------|------------------|--------|
| STM32RE | 1 | 77,11 | 77,11 | 238,91 |
| SFH11-PBPC-D10-ST-BK | 2 | 36,9 | 73,8 | |
| A-DS 09 A/KG-T2S | 2 | 44 | 88 | |

Таблиця 4.8- Маса елементів БП

| Елемент | Кількість | Маса, г | Загальна маса, г | Сума |
|-------------------------|-----------|---------|------------------|------|
| PFC8574 | 7 | 13 | 91 | 313 |
| DIN 41612 90POSGOLD | 2 | 70 | 140 | |
| DIN 41612 48POS GOLD | 1 | 38 | 38 | |
| A-DS 09 A/KG-T2S | 1 | 44 | 44 | |

Визначаємо коефіцієнт K_B за формулою:

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_E}{m_{дп}}}} \quad (4.24)$$

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{239}{30,7}}} = 0,337 \text{ – значення для БУ,}$$

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{315}{30,7}}} = 0,298 \text{ – значення для БП.}$$

Обчислимо коефіцієнт α , вважаючи, що друкована плата жорстко закріплена:

$$\alpha = 22,37 \cdot \sqrt{1 + 0,61 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}}, \quad (4.25)$$

$$\alpha = 22,37 \cdot \sqrt{1 + 0,61 \cdot \frac{0,1^2}{0,1^2} + \frac{0,1^4}{0,1^4}} = 36,1 \text{ – для БУ,}$$

$$\alpha = 22,37 \cdot \sqrt{1 + 0,61 \cdot \frac{0,15^2}{0,07^2} + \frac{0,15^4}{0,07^4}} = 111,6 \text{ – для БП.}$$

Обчислимо циліндричну жорсткість D за наступною формулою:

$$D = \frac{E \cdot \delta^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)}, \quad (4.26)$$

$$D = \frac{3,02 \cdot 10^{10} \cdot 0,0015^3}{12 \cdot (1 - 0,22^2)} = 8,9 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Визначаємо власну частоту коливань друкованої плати за наступною формулою:

$$f_{\text{влас}} = \frac{K_B \cdot \alpha}{2 \cdot \pi \cdot \alpha^2} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot g}{v \cdot \delta}}, \quad (4.27)$$

$$f_{\text{влас}} = \frac{0,337 \cdot 36,1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,1^2} \cdot \sqrt{\frac{8,9 \cdot 9,81}{2,05 \cdot 10^4 \cdot 0,0015}} = 326,26 \text{ (Гц)} - \text{для БУ},$$

$$f_{\text{влас}} = \frac{0,298 \cdot 111,6}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,15^2} \cdot \sqrt{\frac{8,9 \cdot 9,81}{2,05 \cdot 10^4 \cdot 0,0015}} = 396,4 \text{ (Гц)} - \text{для БП}.$$

За емпіричними даними відомо, що при $f_{\text{влас}} > 250$ Гц конструкція є абсолютно жорсткою. Це означає, що не потрібно приймати технічні рішення, що покращать віброміцність друкованих вузлів.

4.9 Розрахунок теплового режиму

Найбільш теплонавантаженим елементом на платі блоку управління є мікроконтролер STM32F3, оскільки він споживає найбільший струм. Мікросхема повинна розсіювати:

$$P = U \cdot I = 5 \text{ В} \cdot 16 \text{ мА} = 80 \text{ мВт} \quad (4.28)$$

Потрібно визначити необхідність виконання тепловідведення. Мікросхема працюватиме за нормального атмосферного тиску та нормальної

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 58 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

конвекції. Тепловий опір переходу корпус – оточуюче середовище для мікросхеми STM32 складає $R_{\text{корп. серед.}} = 90^\circ\text{C/Вт}$, а тепловий опір переходу напівпровідникового кристалу - корпус складає $R_{\text{нп. корп.}} = 10^\circ\text{C/Вт}$. Гранично допустима температура напівпровідникового кристалу становить $T_{\text{кр.мах}} = 140^\circ\text{C}$. Максимальне значення температури навколишнього середовища згідно ГОСТ 15150-69 для УХЛ 1.1 - 45°C . Для розрахунку приймемо значення з деяким запасом на рівні $T_{\text{н.с}} = 50^\circ\text{C}$.

Розрахуємо температуру напівпровідникового кристалу:

$$T_{\text{кр}} = T_{\text{н.с.}} + P * \left(R_{\text{нп. корп.}} + R_{\text{корп. серед.}} \right), \quad (4.29)$$

$$T_{\text{кр}} = 50 + 0,08 * (10 + 90) = 58^\circ.$$

Оскільки, $T_{\text{кр}} < T_{\text{кр.мах}}$, то нема потреби використовувати радіатор.

На платі блоку перевірки найбільш теплонавантаженим елементом є РСF8574. Потужність, що повинна бути розсієна:

$$P = U * I = 3,3 \text{ В} * 20 \text{ мА} = 66 \text{ мВт} \quad (4.30)$$

Мікросхема працює за нормальної конвекції та нормального атмосферного тиску. Тепловий опір переходу корпус – оточуюче середовище складає $R_{\text{корп. серед.}} = 115^\circ\text{C/Вт}$, а тепловий опір переходу напівпровідникового кристалу – корпус не було вказано в даташиті, тому взято значення, що й в STM32 складає $R_{\text{нп. корп.}} = 10^\circ\text{C/Вт}$.

$$T_{\text{кр}} = 50 + 0,06 * (10 + 115) = 57,5^\circ$$

Оскільки, $T_{\text{кр}} < T_{\text{кр.мах}}$, то нема потреби використовувати радіатор.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 59 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Висновок до розділу

В даному розділі були виконані розрахунки, які підтвердили правильність конструктивних рішень щодо елементів друкованої плати, обраного класу точності.

Для друкованої плати всі розрахунки ширини доріжок, контактних майданчиків, діаметрів отворів задовольняють 4-ому класу точності, отже прийняті конструктивні рішення правильні.

Було проведено електричний розрахунок друкованих плат для блоку управління і перевірки. Встановлено, що значення падіння напруги на найдовшому провіднику складає 0,0589 В для БУ та 0,011 В для БП. Потужність втрат друкованих плат складає 142,92(мкВт) для БУ та 241,8(мкВт) для БП. Значення ємності двох паралельних провідників складає 61,67 (пФ) для БУ та 169,43(пФ) для БП. Значення індуктивності двох паралельних провідників складає 0,1054 (мкГн) для БУ та 0,082(мкГн) для БП. Всі значення вище знаходяться в межах норми. Згідно розрахунку надійності, пристрій прицюватиме 27000 годин, що задовольняє умови ТЗ. Отримані значення паразитної ємності та взаємної індуктивності дозволяють стверджувати, що на працездатність схеми вони не впливають.

Виконаний розрахунок віброміцності друкованої плати. Конструкція є абсолютно жорсткою. Детальний розрахунок підтвердив, що максимальний прогин не перевищує допустиму умову віброміцності ($0,021 \text{ мм} < 0,3 \text{ мм}$ та $0,014 \text{ мм} < 0,3 \text{ мм}$). Таким чином, умови віброміцності для плат БУ та БП задовольняються.

Проведено тепловий розрахунок мікроконтролера, через який в схемі протікає найбільший струм. Розрахунки показали, що при температурі навколишнього середовища 50°C значення температури кристалу становить 58°C при максимальному 140°C .

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 60 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ВИСНОВКИ

В даному проекті розроблено універсальний кабельний тестер, що задовольняє вимоги поставлені у технічному завданні. У ході розробки було створено схему електричну принципову, програмне забезпечення, друкований вузол та документацію.

Пояснювальна записка розділена на 4 частини – Аналіз технічного завдання та патентний пошук, схемотехнічне проектування, опис програми керування пристроєм, розробка друкованого вузлу.

Розглянуто вже розроблені пристрої з подібним функціоналом, проаналізовано їх основні недоліки. В результаті аналізу, встановлено, що основним недоліком є обмежена кількість роз'ємів для перевірки, та неможливість їх заміни. Під час проектування розроблено концепцію, що дозволяє виправити ці недоліки.

Розроблено структурну схему, що складається з трьох плат. Одна плата входить в блок управління, дві в блок перевірки даних. На платі блоку управління встановлено STM32, що виконує функції аналізу і передачі даних. Блок перевірки складається з двох плат, на яких встановлені PCF8574. Для з'єднання цих блоків використовуються роз'єми A-DS 09 A/KG-T2S.

Описано розроблене програмне забезпечення для STM32 та інтерфейс для програми на ПК.

Підтверджено правильність конструкторсько-технічних рішень. Розраховано ширину доріжок, контактних майданчиків, діаметрів отворів. Електричний розрахунок, отримані значення паразитної ємності та взаємної індуктивності задовольняють вимогам та не вплинуть на роботу схеми. Середній час напрацювання на відмову 29000 годин, що задовольняє вимогам ТЗ.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 61 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Svyaz` i Komplekt "Kabel`nye testeru". Available at: <https://skomplekt.com/tovar/1/5/84/> (accessed 28 March 2020).
2. Pribor №1. "Tester dlya prozvonki kabelya, tester djgutov TJ-02". Available at: <http://1-pribor.ru/tester-zhgutov/> (accessed 28 March 2020).
3. Pribor №1. "Tester djgutov TJ-04". Available at: <http://1-pribor.ru/tester-zhgutov-tzh-04/> (accessed 28 March 2020).
4. LCD.net "Advantages and disadvantages of LCD Technology" Available at: <http://lcd.net/advantages-and-disadvantages-of-lcd-technology.html> (accessed 28 March 2020).
5. <https://www.quora.com/What-are-the-pros-and-cons-of-stm32-MCUs-versus-pic32-MCUs>
6. STM23 Reference manual. Available at: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/reference_manual/59/b9/ba/7f/11/af/43/d5/CD00171190.pdf/files/CD00171190.pdf/jcr:content/translations/en.CD00171190.pdf (accessed 28 March 2020).
7. STM32 User manual. Available at: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/9b/77/50/3f/e5/8d/4f/c9/DM00130473.pdf/files/DM00130473.pdf/jcr:content/translations/en.DM00130473.pdf (accessed 28 March 2020).
8. <https://www.electronicshub.org/switches/>
9. <https://radioprogram.ru/post/458>
10. PCF8574, PCF8474A Remote 8-bit expander for I2C-bus with interrupt.Data Sheet, NPX. Available at : https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCF8574_PCF8574A.pdf (accessed 28 March 2020).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ДК61.468382.001 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 62 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

11. Савельев Л. Я-. Овчинников В. Л. Конструирование ЭВМ и систем: Учебник для техн. вузов по спец. «Электрон. выч. маш.» — М.: Высш. шк., 1984. — 248

12. <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/3/22/3-22-mzs7.pdf>

13. STM32 User manual. Available at: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/9b/77/50/3f/e5/8d/4f/c9/DM00130473.pdf/files/DM00130473.pdf/jcr:content/translations/en.DM00130473.pdf (accessed 28 March 2020).

14. Easy_I2C AVR ASM Workshop PCF8574 and a few thoughts on LCD displays + I2C-GPIO. Available at: http://we.easyelectronics.ru/AVR/easy_i2c-avr-asm-praktikum-pcf8574-i-nemnogo-mysley-o-zhk-displeyah-i2c-gpio.html (accessed 28 March 2020).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ДК61.468382.001 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 63 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ДОДАТОК А

Технічне завдання на проектування

1. Найменування та область використання

Універсальний кабельний тестер створений для контролю якості окремих джгутів або провідників при виробництві та ремонту електроніки в приміщеннях та поза ними.

2. Підстава для розробки

Підставою для розробки є завдання на дипломний проект, згідно з наказу №1196с від 25.05.2020 року.

3. Мета і призначення роботи

Метою данного проекту є розробка пристрою перевірки джгутів, призначення якого – перевірка справності кабелів та джгутів.

4. Джерела розробки

Технічна документація на мікроконтролер STM32F303RE, документація на решту елементної бази. Наказ на проектування №1196с від 25.05.2020 року.

5. Технічні вимоги

5.1 Функціональні можливості

Пристрій повинен перевіряти кожен з проводів джгута на справність, та повідомляти користувача в разі несправності. Керування здійснювати за допомогою кнопок, забезпечити достатню індикацію результату роботи навулиці, пристрій повинен бути розділений на дві частини.

5.2 Технічні характеристики

- Напруга живлення OLED дисплею: +3.3 В
- Напруга живлення мікроконтролера: +5 В
- Напруга живлення розширювача PCF8574: +3.3 В
- Максимальний струм споживання – 1 А.
- Максимальний габаритний розмір плат – 150x150 мм для блоку управління та блоку перевірки. Маса кожної плати не більше 400 г.

5.3 Вимоги до технологічності

Орієнтовані на передові прийоми виготовлення деталей та складання.

5.4 Вимоги до рівня уніфікації й стандартизації

Для виготовлення пристрою передбачається максимальне застосування стандартних, уніфікованих деталей та виробів.

5.5 Вимоги безпеки обслуговування

Керуватися загальними вимогами безпеки до апаратури низької напруги ГОСТ 12.2.007-45

5.6 Умови експлуатації

Кліматичне виконання УХЛ 1.1 по ГОСТ 15150-69.

5.7 Вимоги до транспортування і зберігання

Група умов зберігання Л1 по ГОСТ 15150-69. Зберігати в зачинених, опалювальних та вентильованих приміщеннях, в яких забезпечуються наступні умови: температура повітря +5...+40 °С, відносна вологість повітря %60 при 20 °С (середньорічне значення), атмосферний тиск 84...106кПа.

5.8 Додаткові технічні вимоги

Провідники в джгуті повинні перевірятися один за одним.

6. Результат роботи

6.1. Результати даної роботи можуть бути використані як вихідна документація по створенню прототипу пристрою, його програмування, налагодження й подальшого впровадження в серійне виробництво.

6.2. Звітна документація після виконання роботи передається на кафедру КЕОА для подальшого захисту й зберігання як навчальної документації.

7. Робота повинна містити в собі документи:

- Пояснювальну записку;
- Схему електричну принципову, перелік елементів, специфікацію;
- Складальне креслення;
- Додатки.

8. Порядок розгляду і приймання роботи

Порядок розгляду й приймання роботи на загальних умовах, прийнятих на кафедрі КЕОА. Рецензування й прийняття комісією на загальних умовах.

9. Економічні показники

В даній роботі не розглядаються.

10. Етапи розробки

| № з/п | Назва етапів виконання Дипломного проекту | Термін виконання етапів проекту | Примітка |
|-------|---|---------------------------------|----------|
| 1 | Аналіз технічного завдання | 17.02.20 - 26.03.20 | виконано |
| 2 | Вибір елементної бази та друкованої плати | 26.03.20 - 02.04.20 | виконано |
| 3 | Схемотехнічне проектування | 02.04.20 - 09.04.20 | виконано |
| 4 | Виконання креслень схеми електричної принципової | 09.04.20 - 23.04.20 | виконано |
| 5 | Проектування друкованого вузла у Altium Designer | 23.04.20 - 30.04.20 | виконано |
| 6 | Конструкторсько-технологічні розрахунки | 30.04.20 - 03.05.20 | виконано |
| 7 | Електричний розрахунок друкованої плати | 03.05.20 - 07.05.20 | виконано |
| 8 | Розрахунок віброміцності друкованої плати | 07.05.20 - 14.05.20 | виконано |
| 9 | Розрахунок теплового режиму стабілізатора напруги | 14.05.20 - 21.05.20 | виконано |
| 9 | Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла | 21.05.20 - 28.05.20 | виконано |
| 10 | Оформлення пояснювальної записки | 28.05.20 – 10.06.2020 | виконано |

ДОДАТОК Б

Блок-схеми функцій

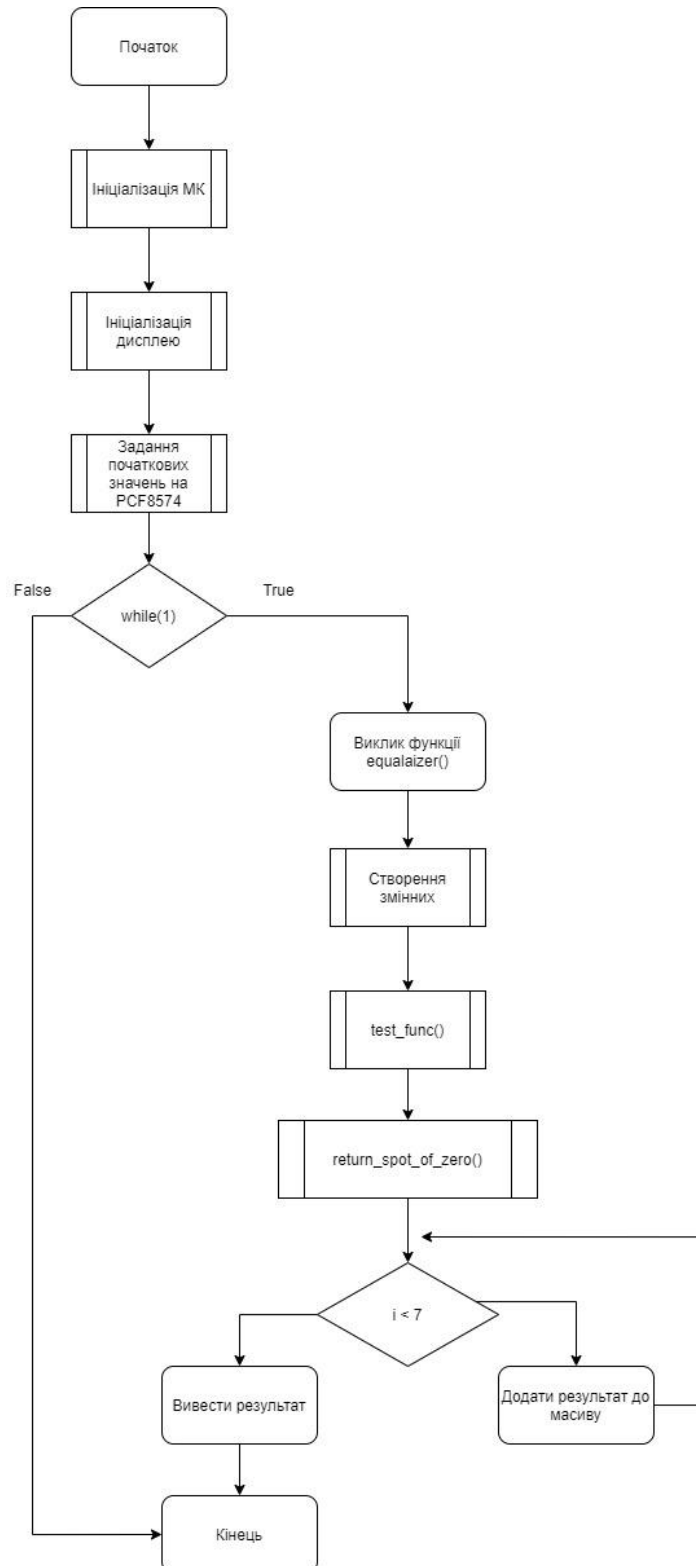


Рисунок Б.1 – Блок-схема виконання програми

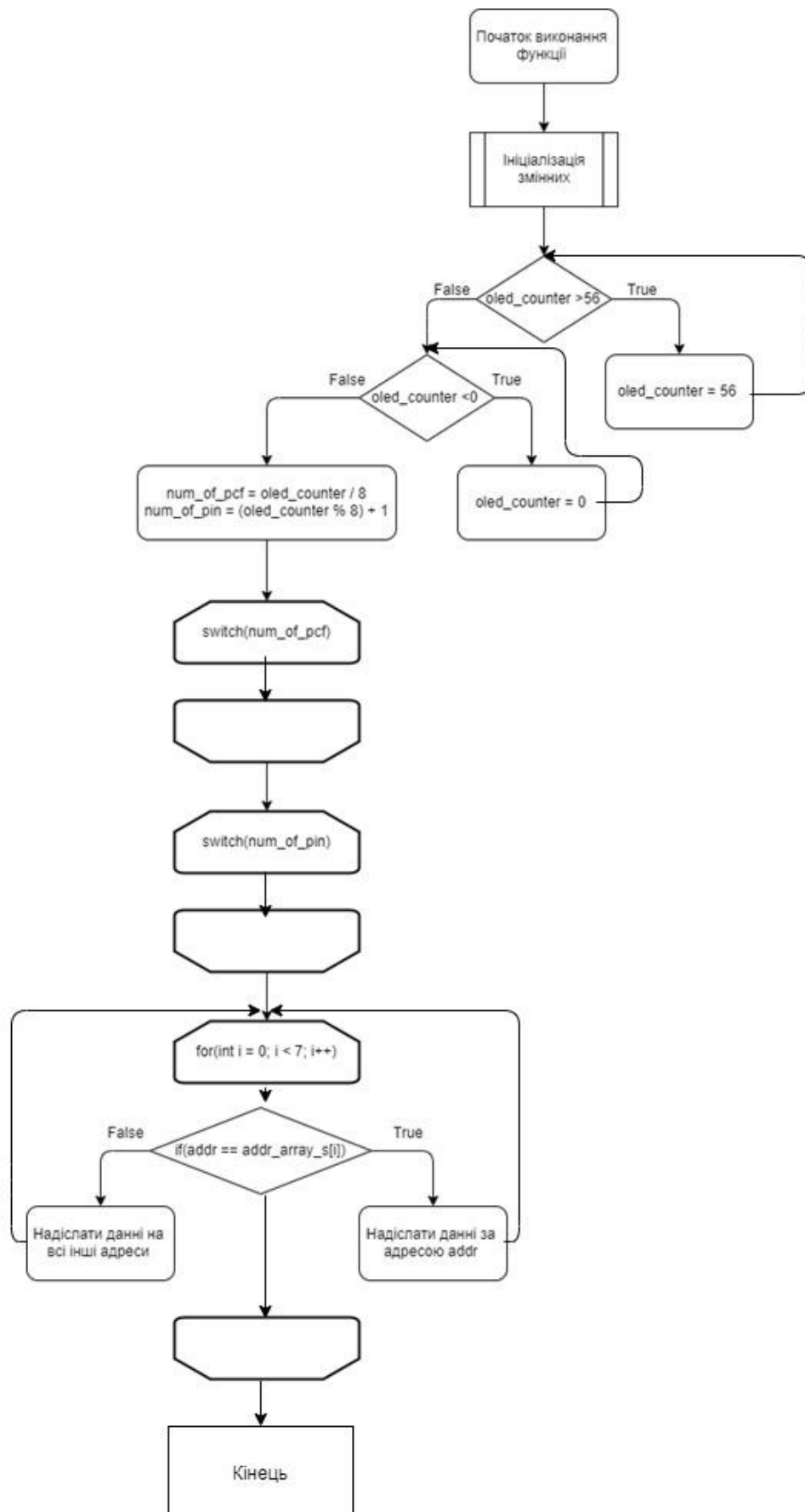


Рисунок Б.2 – Блок – схема функції test_func()

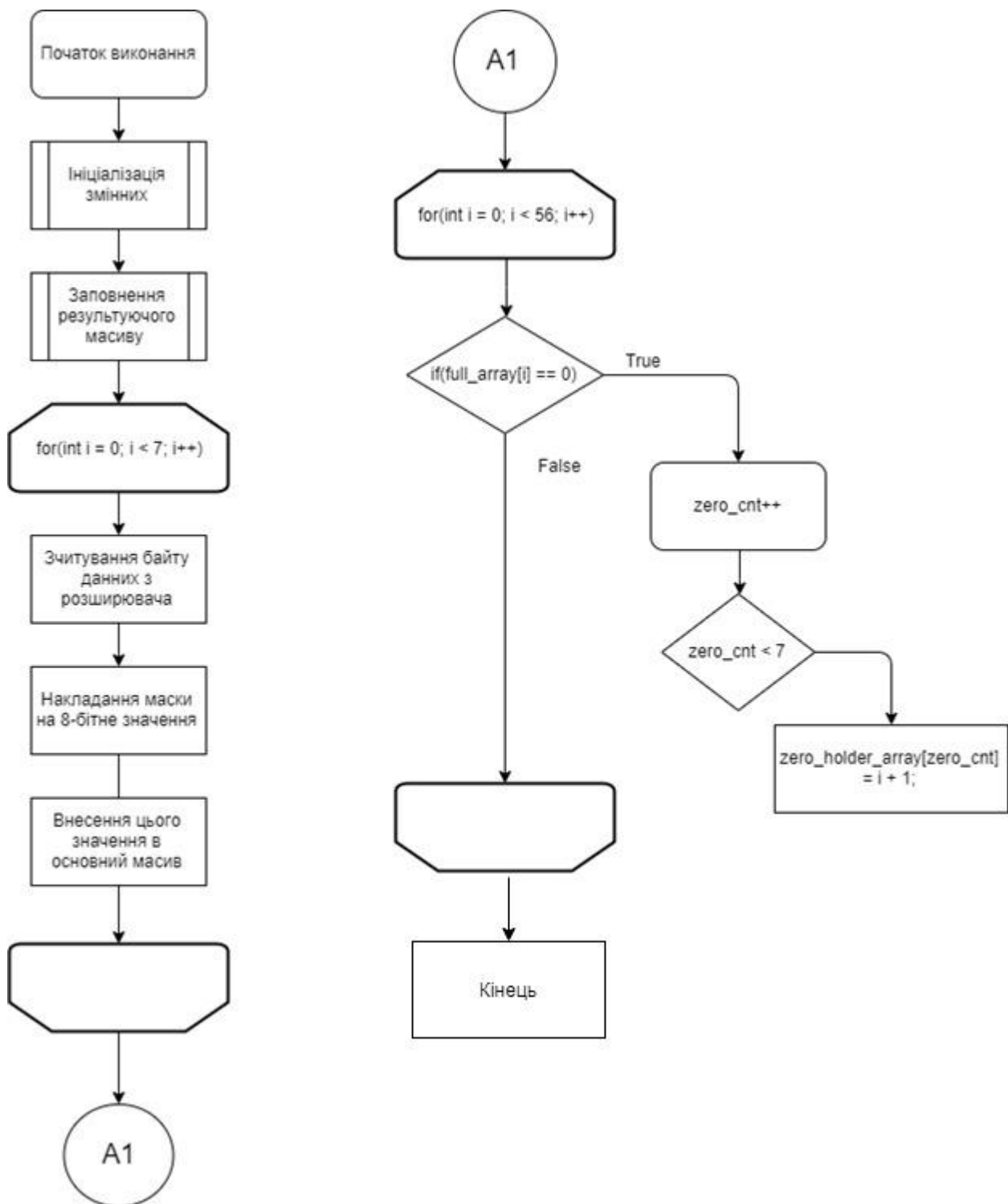


Рисунок Б.3 – Блок – схема функції return_spot_of_zero()



Рисунок Б.4 – Блок – схема функції передачі даних з STM32

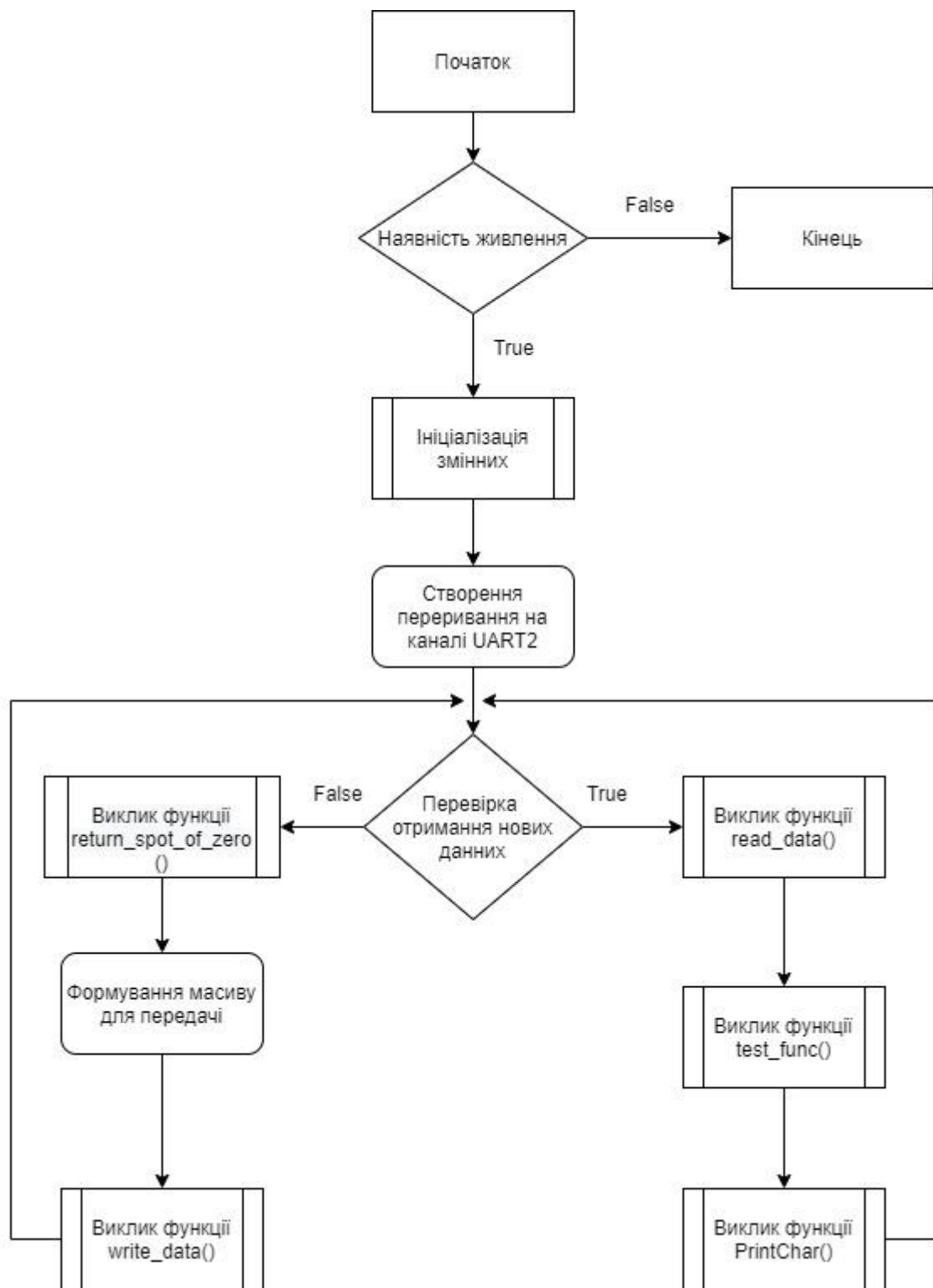


Рисунок Б.5 – Блок – схема функції роботи STM32 з ПК

ДОДАТОК В

Участь у конференціях

ПРИСТРІЙ ПЕРЕВІРКИ ДЖГУТІВ

[\[PDF\] с сайта kpi.ua](#)

| | |
|-------------------|--|
| Автори | Артем Андрійович Накоренко |
| Дата публікації | 2020 |
| Журнал | Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ» |
| Описание | Пристрій перевірки джгутів-це пристрій, який перевіряє всі дроти в кабелі або джгуті. Він складається з двох незалежних систем-блоку перевірки та блоку управління. Такий підхід надає деякі переваги перед аналогами. По-перше, можна швидко замінити блок перевірки, що дає можливість швидко змінити роз'єми для перевірки кабелів. По-друге, це рішення полегшує транспортування пристрою. |
| Статті в Академії | ПРИСТРІЙ ПЕРЕВІРКИ ДЖГУТІВ АА Накоренко - Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної ..., 2020 |

Рисунок В.1 – Підтвердження публікації в журналі «Перспективи телекомунікацій»



Рисунок В.2 – Сертифікат учасника конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти»

